Environment Canada
Environnement Canada

Canada

CLIMATE CHANGE DIGEST

CCD 88-01 The Implication of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces

CCD 88-02 Preliminary Study of the Possible Impacts of a One Metre Rise in Sea Level at Charlottetown, Prince Edward Island

CCD 88-03 Implications of Climate Change for Downhill Skiing in Quebec

CCD 88-04 Economic Perspectives on the Impact of Climate Variability and Change: A Summary Report

CCD 88-05 Implications of Climatic Change for Tourism and Recreation in Ontario

CCD 88-06 Estimating Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada

CCD 88-07 Socio-Economic Assessment of the Physical and Ecological Impacts of Climate Change on the Marine Environment of the Atlantic Region of Canada - Phase I

CCD 88-08 The Implications Climate Change for Natural Resources in Quebec

CCD 88-09 CO_2 Induced Climate Change in Ontario: Interdependencies and Resources Strategies

CCD 89-01 Climate Warming and Canada's Comparative Position in Agriculture

CCD 89-02 Exploring the Implications of Climatic Change for the Boreal Forest and Forestry Economics of Western Canada

CCD 89-03 Implications of Climatic Change for Prince Albert National Park, Saskatchewan

CCD 89-04 Implications of Climate Change on Municipal Water Use and the Golfing Industry in Quebec

CCD 89-05 The Effects of Climate and Climate Change on the Economy of Alberta

CCD 90-01 Implications of Climate Change for Small Coastal Communities in Atlantic Canada

CCD 90-02 The Implications of Long-Term Climatic Changes on Transportation in Canada

CCD 91-01 Climate Change and Canadian Impacts: The Scientific Perspective

Environment Canada Environnement Canada

CLIMATE CHANGE AND CANADIAN IMPACTS:

The Scientific Perspective

Prepared for

Climate Change Digest
Atmospheric Environment Service

by the

Canadian Climate Program Board

This Report Contributes to State of Environment Reporting

PRINTED ON
RECYCLED PAPER

Think recycling

Pensez à recycler

92-01470/

DISCLAIMER

This publication contains a statement, prepared by the Canadian Climate Program Board, on the scientific perspective on climate change and its implications for Canada. The views and opinions expressed herein are those of the Board and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge, by writing to the:

Climate Services Division
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4
(416) 739-4331/4328

Published by Authority of the
Minister of the Environment

© Minister of Supply and Services
Canada 1991

Catalogue No. EN57-27/1991-01
ISBN 0-662-58041-9
ISSN 0835-3980

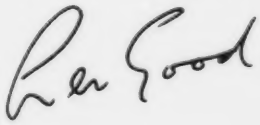
FOREWORD

In June 1988, a large group of policy makers, scientists, economists and other experts from 46 nations, participating in the World Conference on the Changing Atmosphere in Toronto, declared that "humanity is conducting an unintended, uncontrolled globally pervasive experiment whose ultimate consequences could be second only to a global nuclear war." The participants were referring to the rapid change in the composition of the Earth's atmosphere due to human release of pollutants.

Seven months later, in January 1989, the UN General Assembly adopted the "Malta Resolution" that echoed the concerns of the Toronto Conference statement and encouraged governments and organizations around the world to treat climate change as a priority issue. In February, at New Delhi's International Conference on Global Warming and Climate Change: Perspectives from Developing Countries, attendees called global warming "the greatest crisis ever faced collectively by humans." On March 10, 1989, Heads of State from 24 nations signed the 'Declaration of The Hague' which declared that "Today, the very conditions of life on our planet are threatened by severe attacks to which the earth's atmosphere is subjected."

The scientific evidence is increasingly clear that the Earth's atmosphere is undergoing major changes. These changes have already in some respects (such as CO_2 concentrations) exceeded the limits of natural atmospheric fluctuations over at least the past 100,000 years and are projected to become significantly larger with time. It is highly probable that the world we leave to the next generations will be climatically unlike any that mankind has previously experienced.

Numerous international studies have already attempted to evaluate the implications of these changes. In Canada, the Atmospheric Environment Service of Environment Canada has been at the leading edge of this activity, having implemented, in 1984, a program to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming. This publication series has been developed to provide, in summary format, the results of these studies and to identify other issues related to climate change.



Len Good
Deputy Minister
Environment Canada

TABLE OF CONTENTS

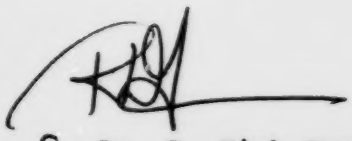
		Page
Preface		i
1.	Executive Summary	1
2.	Introduction	4
3.	International Consensus on the Science	7
4.	Socio-Economic Impacts: The Global Effects	14
5.	National Impacts for Canada	18
	5.1 Land and Water Resources	18
	5.2 Coastal and Offshore	20
	5.3 Regional Impacts	21
	5.4 Future Direction in Impact Studies	24
6.	Reducing the Uncertainties: Analysis, Research and Data Needs	25
7.	The International Context	28
8.	Conclusions	29

PREFACE

Previous issues of this publication have reported on the results of studies to investigate the potential impacts of climate warming on Canadians. A list of earlier titles in this series appears on the inside front cover.

This issue presents a synthesis - a statement on the current international scientific perspective on climate change. It has been prepared by the Canadian Climate Program Board, a body constituted to coordinate and make recommendations on the direction and priorities for the Canadian Climate Program. The Board is composed of a number of senior federal officials, members of provincial agencies (currently New Brunswick, Quebec, Ontario, Saskatchewan and Alberta), university academics and representatives from the private sector.

In this statement, the Canadian Climate Program Board briefly summarizes the scientific information on climate change due to greenhouse gas increases, and the social and economic parts of the world. For this summary, the Board has drawn significantly from the August 1990 reports of Working Groups 1 and 2 of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The work of this panel, established by the World Meteorological Organization and United Nations Environment Program, has involved about 1,000 specialists from more than 60 countries and represents an international consensus of unprecedented scope. Additional input to this report has come from studies conducted under the Canadian Climate Impacts Program, and from studies conducted by other federal agencies.



for Dr. D. Kirk Dawson
Director General
Canadian Climate Centre

About the CANADIAN CLIMATE PROGRAM and CLIMATE PROGRAM BOARD

The Canadian Climate Program (CCP) was established in 1979, to coordinate climate studies across the nation, to develop better understanding of climate and to foster greater awareness of climate information.

A senior national committee called the Canadian Climate Program Board (CCPB) was formed to make recommendations on program directions and priorities, and to provide the liaison and guidance necessary for the successful operation on a national and international basis. A list of current CCPB members follows on the next page.

Some of the CCPB's more significant activities since its inception include:

- input to the development of Canada's Green Plan and National Action Strategy on Global Warming;
- implementation of a series of Canada - USA symposia on the implications of climate change; sponsorship of other conferences, workshops and seminars;
- publication of: Needs and Recommendations; and a Plan of Action for the CCP.
- preparation of briefs and reports for the Canadian Council of Ministers of the Environment, upon request.

Members - Canadian Climate Program Board

J.P. Bruce
Chair

Dr. K. Babcock
Geological Survey of Canada
Energy, Mines & Resources

Ms. Betty Collins
Saskatchewan Environment
and Public Safety

Mr. D.A. Davis
Conservation and Protection
Environment Canada

Dr. D. Kirk Dawson
Atmospheric Environment Service
Environment Canada

Ms. E. Dowdeswell
Atmospheric Environment Service
Environment Canada

M.M. Ferland
Meteorological Branch
Environment Quebec

Dr. Ken Hare
Chair, Advisory Board
Institute for International
Programs, University of Toronto

Dr. H. Hill
Prairie Farm Rehabilitation
Administration

Dr. G. Holland
Oceanographic Sciences
Fisheries and Oceans Canada

Mr. P.M. Higgins
Conservation and Protection
Environnement Canada

Mr. Jim Knight
New Brunswick Environment

Dr. R.M. Koerner
Geological Survey of Canada
Energy, Mines & Resources

Dr. Jag Maini
Policy Sector
Forestry Canada

Mr. K.A. Mattila
Canadian Petroleum Products
Institute

A.J. Malinauskas
Secretary
Environment Canada

Dr. G.A. McBean
University of B.C. and World
Climate Research Program

Dr. Peter Morand
Natural Sciences & Engineering
Research Council of Canada

Dr. J.B. Morrissey
Science Sector
Fisheries and Ocean Canada

Dr. L.A. Mysak
McGill University

Mr. J.H. O'Donnell
Surveys, Mapping and Remote
Sensing
Energy, Mines & Resources
Canada

Dr. Art Olson
Research Branch
Agriculture Canada

Mr. E. Piche
Ontario Ministry of Environment

Dr. H.S. Sandhu
Alberta Environment

Dr. Ambury Stewart
Private Sector Meteorological
Association of Canada

Dr. Robert W. Stewart
University of Victoria

Dr. J. Stone
Atmospheric Environment Service
Environment Canada

Dr. J. Bryan Taylor
National Research Council of
Canada

Dr. Anne Whyte
Chair, Canadian Global Change
Program, Royal Society of
Canada

1.0 EXECUTIVE SUMMARY

"No generation of political leaders has ever been presented as challenging a task as dealing with greenhouse gases and climate change" (Prime Minister Carlson of Sweden at the August 1990 meeting of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Indeed the manner in which nations deal with this issue will profoundly affect the global environment, energy and resource policies, and the trade and economic balance between countries, both industrialized and developing.

Many years of scientific measurements at observing stations in Canada and around the world indicate unequivocally that the atmospheric concentrations of the "greenhouse gases" (carbon dioxide, methane, the chlorofluorocarbons, nitrous oxide and ground-level ozone) are increasing rapidly. By 1990, carbon dioxide and methane concentrations in the global atmosphere had reached values higher than the Earth has seen in more than 160,000 years. The rising concentrations, due to human activities such as the burning of fossil fuels, various industrial processes, and changing land uses, are enhancing the natural greenhouse effect, resulting in additional warming of the Earth's surface.

If no response measures are taken, greenhouse gas emissions from most sources will continue to increase significantly. Under the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "business-as-usual" scenario, it is estimated that CO2 emissions, which account for over 50% of the anthropogenic greenhouse gas effect, will increase from approximately 7 billion tonnes of carbon in 1985 to between 11-15 billion tonnes by the year 2025. Other greenhouse gas concentrations will also rapidly increase, except for CFCs which will be reduced under the Montreal Protocol. With reductions in CFCs the energy sector will contribute some two-thirds of the human-induced greenhouse forcing over the period 2000 to 2025.

Based on these projections and results from the best mathematical models used to simulate the Earth's climate system, IPCC has predicted an increase of global mean temperature above pre-industrial levels of more than 2°C by 2050 and 4°C before the end of the next century. These are rates of change unprecedented in recorded history, and will be accompanied by sea-level rises that would be catastrophic for some low-lying countries.

Climate changes over Canada will be different from the global mean. Warming is expected to be significantly greater in Canada's Arctic during winter; greater than average temperature increases in central North America are predicted to be accompanied by reduced summer soil moisture. Climate is naturally variable from year to year; consequently the temperature rise will not be steady. Although models agree reasonably well on global and large-scale features, a number of limitations, involving spatial resolution and

incomplete simulation of some processes (clouds, sea ice, hydrologic cycle and oceans), result in less confidence at smaller regional and local scales.

The impacts of potential climate change under the "business-as-usual" emission scenario, with particular significance for Canada include the following:

- shift of climatic zones several hundred kilometres northward over the next 50 years; flora and fauna would lag behind these climatic shifts and the rate of climate change may become too fast for some species to survive;

- potential for northward expansion of agricultural crops where soils permit, up to the southern boundary of the Canadian Shield; increased drought risks, especially in the Prairies; international trading patterns in agricultural products would be seriously changed;

- shift northwards of forest ecosystems but with narrower boundaries for some species; increased fire, insect and disease attacks are probable;

- large changes in water resources; potential decrease in net basin runoff of 25 to 50% in the Great Lakes-St. Lawrence system; lower summer soil moisture in the Prairie provinces, and larger flood flows in northern rivers;

- adverse effects on human health associated with more frequent and intense heat waves in cities, and the poleward spread of tropical diseases;

- significant degradation of permafrost within the next 40-50 years; overlying ecosystems and wildlife habitat could be significantly altered affecting northern indigenous people; structures such as pipelines and buildings would be seriously threatened;

- acceleration of sea-level rise and modification of ocean temperatures and circulation; sea-level rise would increase shore erosion, change coastal ecology, affect wetlands and important fisheries and necessitate significant costs for coastal protection; ocean changes would alter on fish distribution and migration routes;

- devastation of large coastal settlements, especially in developing countries and low-lying islands, by higher sea levels combined with severe tropical storms, creating many millions of environmental refugees searching for new homes on higher ground.

Both internationally and domestically, pressures are growing for effective policy responses to this situation. Internationally, actions have been proposed at a number of conferences, including

the 1988 Toronto Conference, and the Noordwijk and Bergen meetings. At these meetings, countries, including Canada, have endorsed the concept that "in order to achieve sustainable development, policies must be based on the precautionary principle" i.e. "Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty should not be used as a reason for postponing measures to prevent environmental degradation". The Intergovernmental Panel on Climate Change has provided its first definitive assessment report, and a number of European countries and Canada have made commitments to cut or stabilize greenhouse gas emissions, primarily through energy efficiency and fuel-switching measures. In addition to the development and implementation of domestic limitation and adaptation strategies, there is an urgent need in Canada for enhanced research to better understand and quantify the processes influencing the climate system, and for a comprehensive system to monitor the environment.

Following the Second World Climate Conference (October 29 - November 7, 1990) and a debate on the issue in the UN General Assembly, more formal negotiations of a global convention on climate change will begin. In these negotiations developing countries are looking to the industrialized nations for commitments on five activities:

1) reduction of greenhouse gas emissions,
2) reforestation programs,
3) support of studies, research and climate monitoring,
4) provision of funds to assist developing countries to participate in these three actions, and to adapt to climate changes,
5) transfer of sustainable development technologies to developing countries, on a preferred basis.

Although complete solutions to these problems may involve significant financial commitments and changes in lifestyle, many of the immediate responses to deal with the problems, such as energy conservation and efficiency and reforestation, are beneficial in their own right. Canadian citizens have indicated that they expect Canada to respond positively to the challenge.

CANADIAN CLIMATE PROGRAM BOARD
STATEMENT ON

Climate Change and Canadian Impacts
The Scientific Perspectives

2.0 INTRODUCTION

Climate varies naturally on all time-scales - from hundreds of millions of years down to year-to-year variations. Prominent in Earth's history have been the glacial-interglacial cycles, of the order of hundreds of thousands of years, through which global mean temperatures have varied by only 5-7°C. There is now concern that human activities that enhance the natural greenhouse effect will, within the next 100 years, result in higher temperatures than have occurred in recorded history. Such a warming would have profound implications for the Earth's environment and human activities.

Measurements in Canada from Alert, N.W.T., Sable Island, Nova Scotia, and Cape St. James, British Columbia, confirm the global trends towards rapidly increasing greenhouse gas concentrations. Figure 1 shows the CO_2 concentrations in Canada and Figure 2 the globally averaged concentrations of CO_2, CH_4 (methane), N_2O (nitrous oxide) and the CFCs (chlorofluorocarbons). These worldwide increases are mainly due to human activities in burning fossil fuels, (CO_2 CH_4, N_2O, O_3) changing land uses (CO_2 CH_4), and emitting certain industrial chemicals, such as the CFCs. These gases absorb infrared radiation emitted from the Earth's surface. In their "natural" concentrations, CO_2, CH_4 and water vapour are mainly responsible for keeping the Earth some 33°C warmer than it would otherwise be, and thus habitable for humans. Water vapour, whose amount is highly variable with time at any given location, is the biggest contributor to the "natural" greenhouse effect. The concern is not about the natural greenhouse effect but about its rapid augmentation since the beginning of the industrial revolution. Theory, mathematical models of climate, and observations for the past 160,000 years from ice cores, all indicate that the current increase of greenhouse gases will bring a rate of global warming over the next century unprecedented in human history.

Canada's contribution to the increase in greenhouse gas emissions, with about 2% of global emissions, placed us twelfth in total amount in the world in 1987. Our emissions per unit of gross national product are also among the highest in the industrialized world. There are some reasons for this - the cold climate, the long distances between urban centres, and the vastness of the

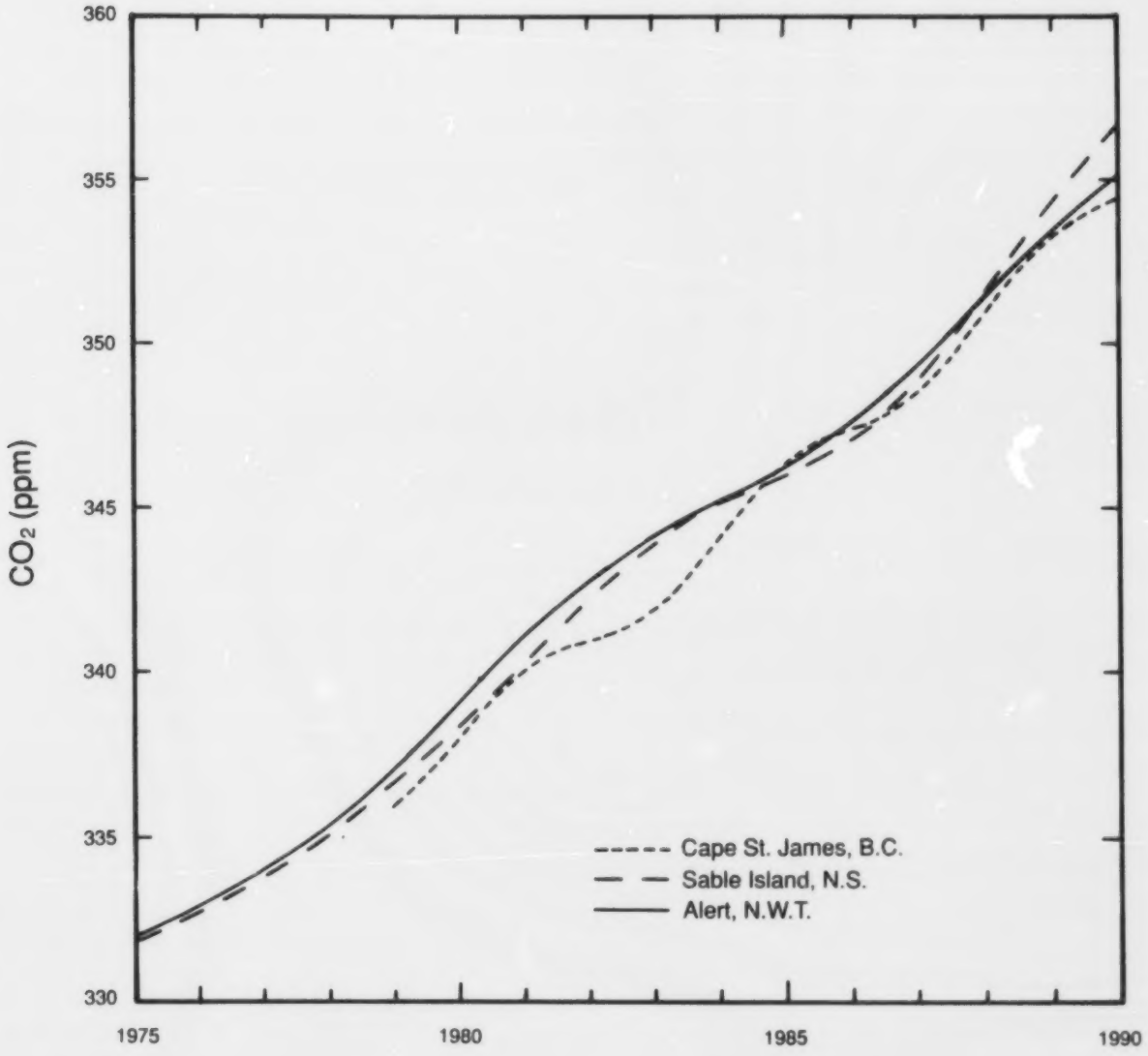
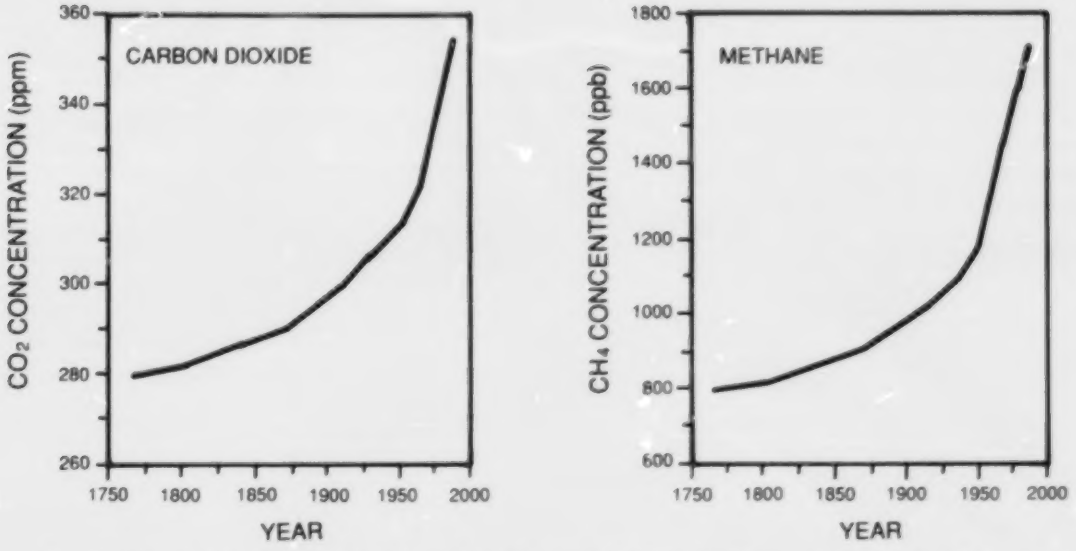
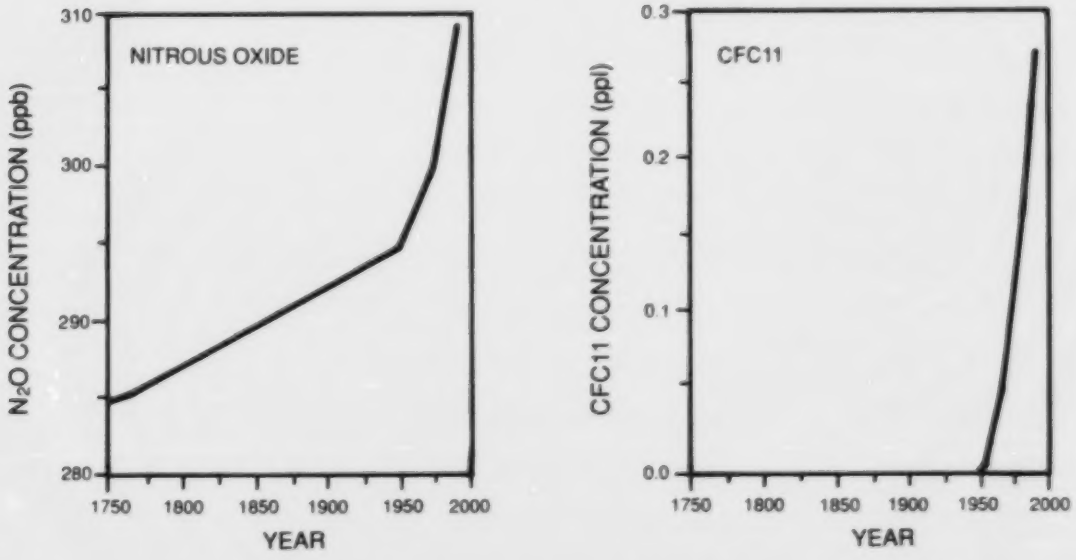


Figure 1. Increases in carbon dioxide concentrations (ppm, parts per million) over the period 1975-1990 at three Canadian sites



Concentrations of carbon dioxide and methane after remaining relatively constant up to the 18th century, have risen sharply since then due to man's activities.



Concentrations of nitrous oxide have increased since the mid-18th century, especially in the last few decades. CFCs were not present in the atmosphere before the 1930s.

Figure 2. Globally-averaged concentrations of four greenhouse gases over the period 1750 to the present

Source: IPCC WG I Report

north; but in most economic sectors, the efficiency in energy use is close to the lowest of the OECD countries. Globally the energy sector has accounted for about one half of the greenhouse gas emissions, agriculture and forestry about one quarter, and industrial activities not involving energy productions and use, the other quarter. With a reduction in CFC emissions under the Montreal Protocol, the energy sector will, with no additional measures, generate about two thirds of the greenhouse gas increase over the period 2000-2025.

3.0 INTERNATIONAL CONSENSUS ON THE SCIENCE

The greenhouse effect is real; it is a well understood effect and based on established scientific principles.

Naturally occurring greenhouse gases keep the Earth warm enough to be habitable, but their continuing increase and the addition of new man-made greenhouse gases such as the CFCs (which also damage the stratospheric ozone layer) will raise the global, annual-mean surface air temperature; there is uncertainty, however, about the rate at which this will occur.

We know that the concentrations of greenhouse gases in the atmosphere have changed naturally during tens to hundreds of thousands of years, and have been increasing since pre-industrial times because of human activities (Table I). In addition, measurements from the Vostok, Antarctica, ice cores going back 160,000 years (Figure 3) show that the Earth's temperature closely paralleled the amounts of carbon dioxide and methane in the atmosphere. The recent changes, due to anthropogenic activity, have occurred over the relatively short time of 150 years or less. The CO_2 concentrations are now 50 ppm higher than ever before, and methane concentrations are about double their pre-industrial values.

Atmospheric concentrations of the long-lived gases (carbon dioxide, nitrous oxide and the CFCs) adjust only slowly to changes in emissions. Continued emissions of these gases at present rates commit us to increased concentrations for decades to centuries. The longer that emissions continue to increase at present rates, the greater that reductions would have to be for concentrations to stabilize at a given level. For example, if a global reduction of CO2 emissions of 2% per year were introduced in 1990, atmospheric concentrations would stabilize at about 390 ppm by 2040. However, if a 2% annual reduction were to be delayed until 2010, concentrations would not stabilize until the year 2080 and would be at a much higher level of 460 ppm.

It is relatively easy to predict the direct effect of the increased radiative forcing due to increases in greenhouse gases.

THE PRINCIPAL GREENHOUSE GASES

GAS		CO_2	CH_4	CFC-11	CFC-12	N_2O
Concentration	Pre-industrial	280 ppmv	0.79 ppmv	0	0	280 ppbv
	Present	353 ppmv	1.72 ppmv	280 pptv	484 pptv	310 ppbv
Lifetime in atmosphere (years)		(50-200)	10	65	130	150
Contribution to total radiative effect 1980-1990	(%)	55	15	24 (all CFCs)		6

TABLE I.

Pre-industrial and present-day concentrations of the principal greenhouse gases, their lifetimes and contribution to total radiative effect. Data from IPCC Working Group I.

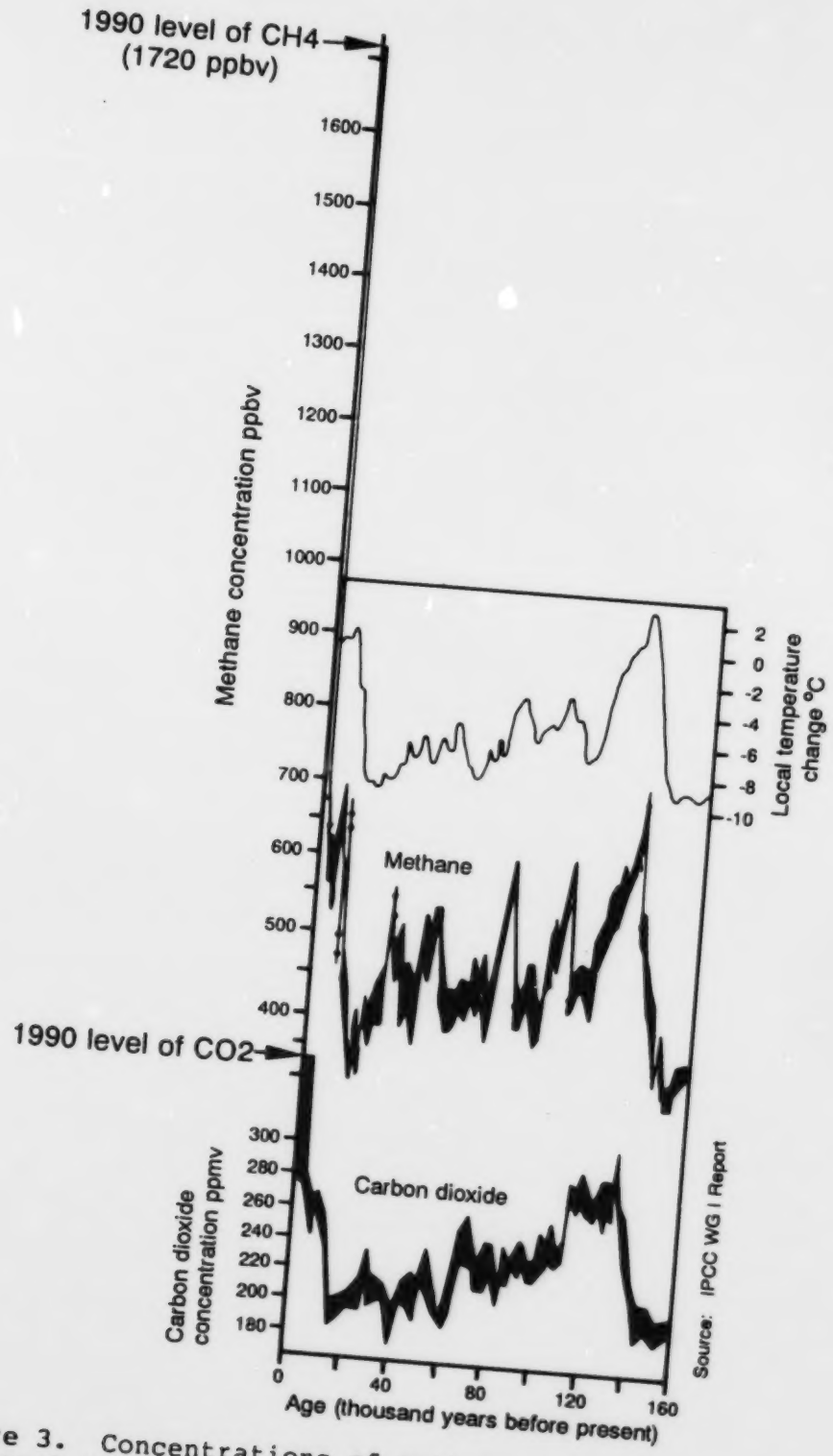


Figure 3. Concentrations of methane and carbon dioxide and local temperature change over the past 160,000 years

Source: IPCC WG I Report

However, as the climate begins to warm, various processes act to amplify or reduce the warming. Processes affecting biological systems appear to produce mainly positive feedbacks and could lead to surprises that would greatly augment the purely radiative effects. The main non-biological feedbacks that have been identified, and that are still insufficiently understood, are due to changes in water vapour, sea ice, clouds and the oceans. The lifetimes of the greenhouse gases are determined by their sources and sinks in the oceans, atmosphere and biosphere. Accurate predictions of future greenhouse gas concentrations are limited by the incomplete understanding of the biospheric processes that control the sources and sinks, and of the way that they may change in the future.

The best tools we have that take all processes into account (as well as present knowledge permits) are complex three-dimensional mathematical models of the climate system (atmosphere-ocean-ice-land), known as General Circulation Models or Global Climate Models (GCMs).

Canada has developed one of the only half-dozen world-class models in existence today which is also one of only three "second generation" models. Table II shows some of the features of GCMs that have been used for doubled carbon dioxide (2 x CO_2) simulations; Figures 4 and 5 present summer and winter season temperature projections from the Canadian model.

All GCM models show substantial changes in climate when CO_2 concentrations (or their equivalent, taking into account all greenhouse gases) are doubled. Large-scale changes on which the models agree include (for North America):

- in high latitudes, enhanced warming in winter and enhanced precipitation in all seasons.
- over central North America, a warming more than the global mean, accompanied on average by reduced soil moisture.

Although there is good agreement on large-scale changes, the changes vary from model to model on sub continental and regional scales and, therefore should be treated with great caution. In addition, the rise of temperatures may not be linear - major or sudden surprises are a distinct possibility; also, superimposed on any changes will be the natural climatic variability.

There is also an incomplete understanding of:

- sources and sinks of greenhouse gases.
- clouds, which strongly influence the magnitude of climate change.
- oceans, which influence the timing, the rate of change

Some Differences between Models

2 X CO2 with Mixed Layer Ocean

Models	Resolution	Diurnal Cycle	Param. Ocean Transport	Under Ice Transport	Optical Properties Feedback	Special Applications Data set
First Generation						
GFDL (1988)	L9, R15	No	No	No	No	No
GISS (1984)	L9, 8 x 10	Yes	Yes	No	No	No
NCAR (1984)	L9, R15	No	No	No	No	No
UKMO (1987)	L11, 5 x 7,5	Yes	Yes	No	No	No
OSU (1988)	L2, 4 x 5	No	No	No	No	No
Second Generation						
CCC (1989)	L10, T32 (3,75 x 3,75)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
UKMO (1989)	2,5 x 2,5	Yes	Yes	No	No	No
GFDL (1989)	L9, R30	No	Yes	No	No	No

GFDL Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GISS Goddard Institute for Space Sciences
NCAR National Center for Atmospheric Research
UKMO United Kingdom Meteorological Office
OSU Oregon State University
CCC Canadian Climate Centre

TABLE 2. Characteristics of GCMs, with a mixed layer ocean, used in doubled CO_2 simulations.

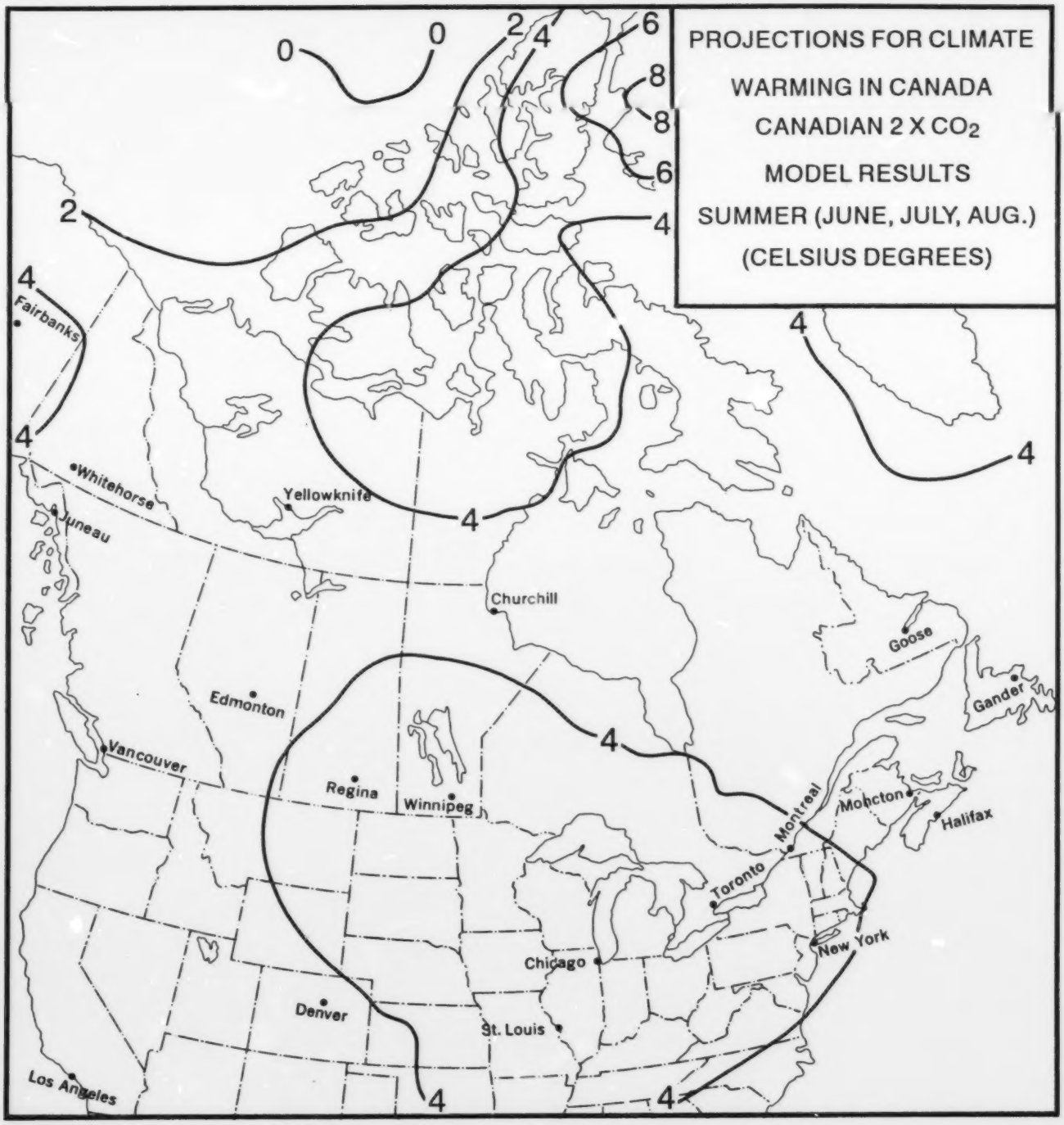

PROJECTIONS FOR CLIMATE
WARMING IN CANADA
CANADIAN 2 X CO_2
MODEL RESULTS
SUMMER (JUNE, JULY, AUG.)
(CELSIUS DEGREES)
0
0
2
4
6
8
8
6
4
2
4
4
4
4
4
4
4
4
Fairbanks
Whitehorse
Juneau
Yellowknife
Churchill
Goose
Gander
Edmonton
Vancouver
Regina
Winnipeg
Montreal
Moncton
Halifax
Toronto
New York
Chicago
Denver
St. Louis
Los Angeles

Figure 4

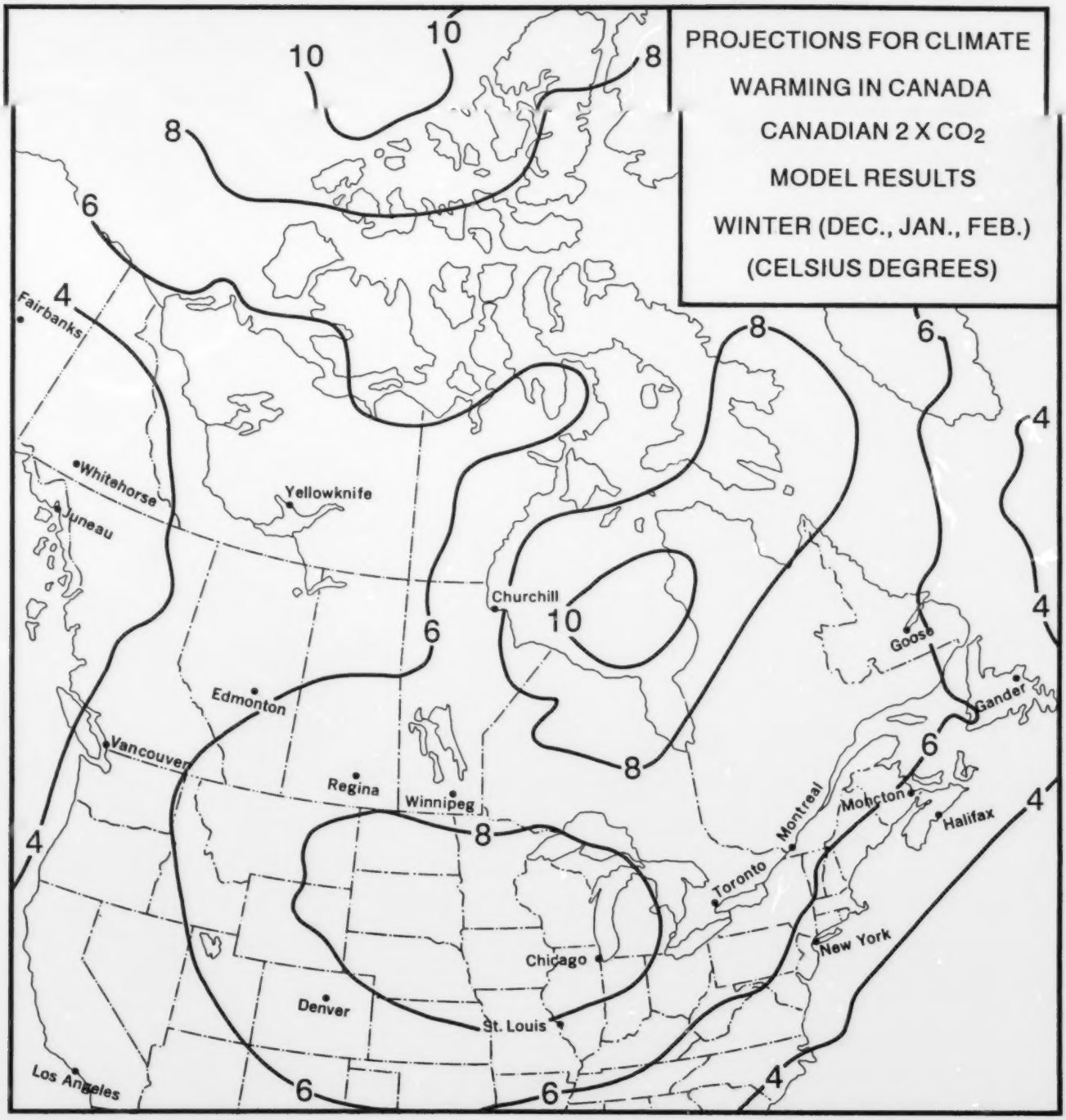

PROJECTIONS FOR CLIMATE
WARMING IN CANADA
CANADIAN 2 X CO_2
MODEL RESULTS
WINTER (DEC., JAN., FEB.)
(CELSIUS DEGREES)
10
10
8
8
6
4
8
6
4
6
10
8
4
4
6
4
8
6
4
Fairbanks
Whitehorse
Juneau
Yellowknife
Churchill
Goose
Gander
Edmonton
Vancouver
Regina
Winnipeg
Montreal
Moncton
Halifax
Toronto
New York
Chicago
Denver
St. Louis
Los Angeles

Figure 5

and the geographical distribution of climate change.
- polar ice sheets, which affect predictions of sea-level rise.
- components of the hydrological cycle.

Based on current GCM results and a "business as usual" scenario, working Group I of IPCC predicts the following effects during the next century: an average rate of increase in the global mean temperature of about 0.3°C (0.2-0.5°C) per decade and an average rate of rise in the global mean sea level of about 6 cm (3-10 cm) per decade (Figure 6). There is also high confidence that land surfaces will warm more rapidly than the ocean, and in winter high northern latitudes (such as Canada's Arctic) will be warmer than the global mean.

The predicted rate of change of the global temperature will be greater than the rate that has occurred naturally on Earth over the last 10,000 years, and the predicted rate of sea-level rise will be about three to six times faster than the observed rate for the last 100 years or so.

A real warming of the globe of 0.3-0.6°C has already occurred over the last century (Figure 7). The observed rise is strongly supported by the retreat of most mountain glaciers since the end of the nineteenth century and by the average annual sea-level rise over the same period of 1 to 2 mm. Estimates of the thermal expansion of the oceans and of increased melting of mountain glaciers appear to be related to the observed global warming and provide grounds for believing that a future warming will lead to an acceleration in the sea-level rise, over that observed in the past few centuries (Figure 6).

4.0 SOCIO-ECONOMIC IMPACTS: THE GLOBAL EFFECTS

Although substantial scientific uncertainty remains concerning the precise time, location and nature of any particular impact, it is inevitable under the climate-warming scenarios that in the absence of major preventive or adaptive actions, significant and potentially disruptive changes in the Earth's environment and economies would result. Indeed, even with vigorous international efforts to limit greenhouse gas emissions, we are already committed to a significant warming. Sea-level rise may occur gradually, but shifts in climate zones may occur unpredictably (i.e. surprise is probable).

IPCC Working Group 2 (WG2) was charged with reviewing what is known about the potential impacts of climate warming on the global scale. It should be noted that global impacts will have direct and important effects on Canada, including an influence on Canada's competitive position in international trade (especially agricultural products) and in helping to resolve social and economic problems of developing countries. What follows is a summary of results from WG2, based on GCM results and presented on

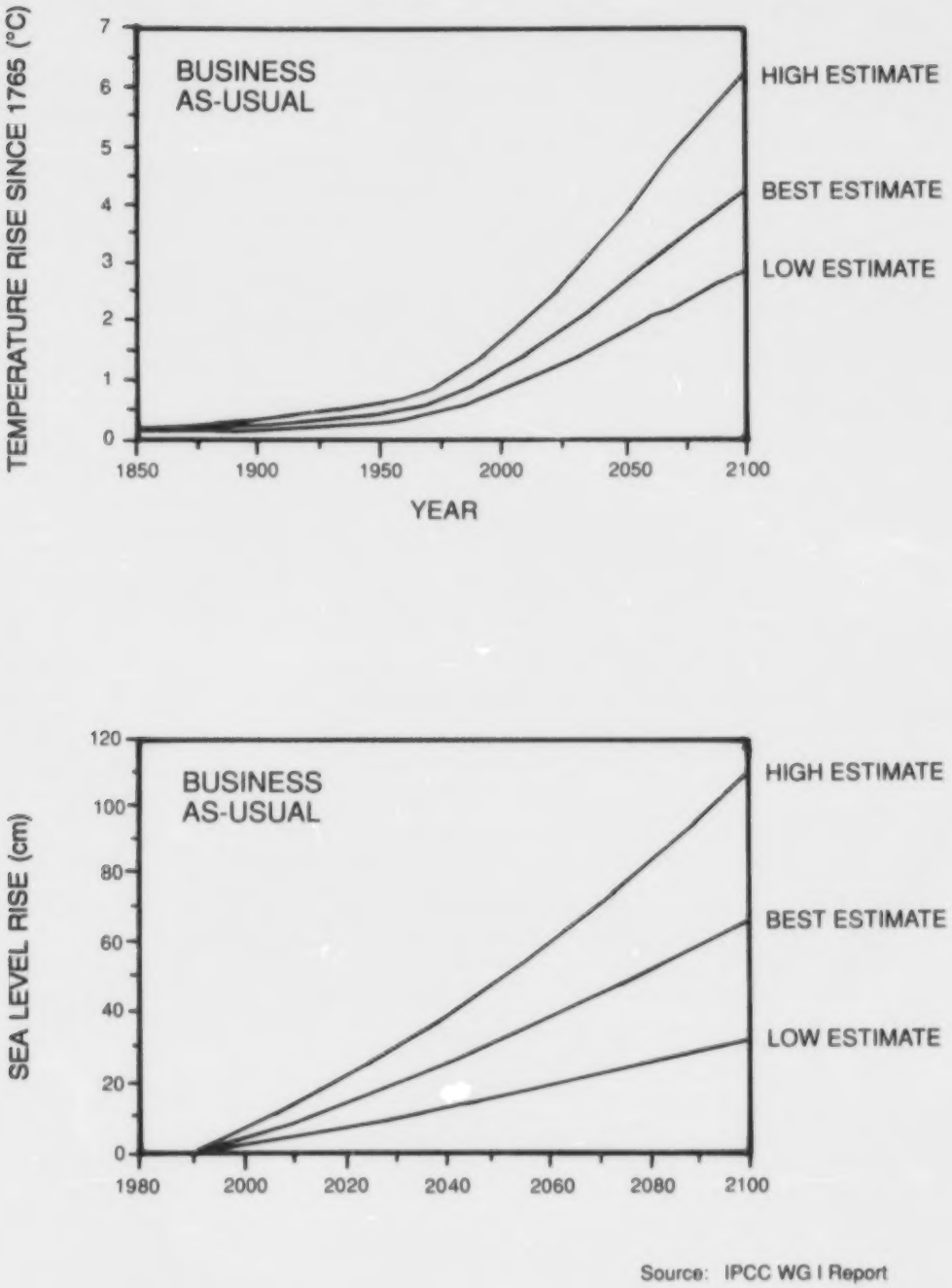


Figure 6. Estimated global mean values of atmospheric warming and sea-level rise for the next century, based on current GCM results and a "business-as-usual" scenario.

Source: IPCC WG I Report

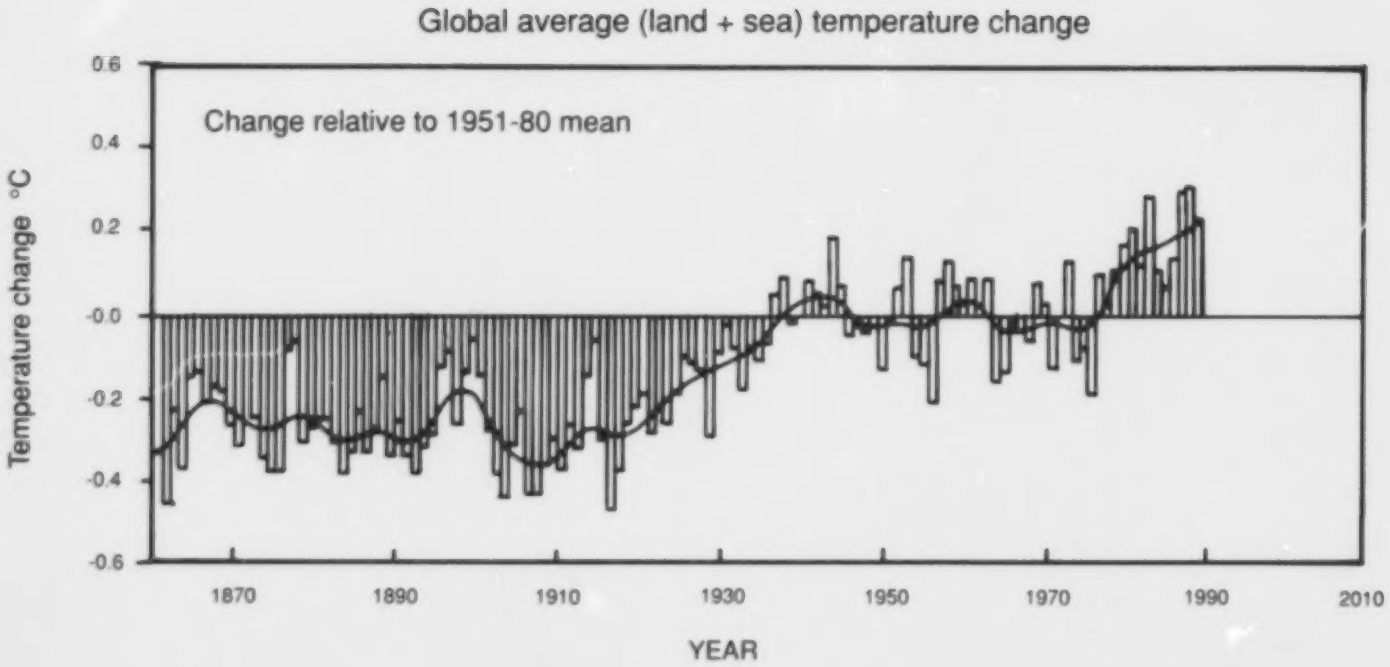


Figure 7. Global average (land and sea) temperature change relative to 1951-80 mean.

Source: IPCC WG I Report

a sectoral basis:

- Agriculture: There may be severe effects in some regions, particularly a decline in production in regions of high present-day vulnerability that are least able to adjust. Negative impacts could be felt at the regional level as a result of changes in weather and pests resulting from climate change, and changes in ground-level ozone caused by pollutants, necessitating innovations in technology and agricultural management practices. Patterns of agricultural trade could be altered by decreased cereal production in some of the current high-production areas, such as Western Europe, southern United States, parts of South America and western Australia.

- Hydrology and Water Resources: Relatively small climate changes can cause large water resource problems in many areas, especially in arid and semi-arid regions and in those humid areas where demand or pollution has led to water scarcity. In some limited areas, for example, under the assumed scenario of a 1-2°C temperature increase, coupled with a 10% reduction in precipitation, a 40-70% reduction in annual runoff could occur.

- Oceans and Coastal Zones: Global warming will accelerate sea-level rise, modify ocean circulation and change marine ecosystems, with considerable socio-economic consequences. Shifts in ocean circulation and changes in upwelling zones will affect the ocean uptake of CO_2 and fisheries habitats; regional shifts in fisheries would have major socio-economic impacts.

- Wildlife: Climate change will cause changes in wildlife habitat and the availability of food, thereby increasing pressure on animals; wildlife migration and, in a worst case scenario, species extinction may result. For example, sea ice, which supports the Arctic food web and serves as a vital migration pathway for walruses, seals and polar bears, will significantly diminish with climate change.

- Human Settlements: The most vulnerable human settlements are those especially exposed to natural hazards, e.g. coastal or river flooding, severe drought, landslides, severe wind storms and tropical cyclones.

- Health: Major health impacts are possible, especially in large urban areas, owing to changes in availability of water and food and increased health problems because of the spreading of infections due to heat stress. Changes in precipitation and temperature could radically alter the patterns of vector-borne and viral diseases by shifting them to higher latitudes, thus putting large populations at risk.

Developing countries (LDCs): LDCs are likely to be very vulnerable to the consequences of global warming. Their infrastructure is less able to cope with extreme events (tropical cyclones, droughts, etc.). They view industrialized countries (IDCs) as the primary historical cause of this problem and expect IDCs to take the lead in providing technologies and resources for responding to this challenge. However, LDCs want to be full partners in research and decision making. WG2 of IPCC recommends that LDCs should have the capability to assess climate-change impacts and to integrate this information into their planning, and that IDCs should assist in creating indigenous climate-change impact assessment capabilities in such countries.

5.0 NATIONAL IMPACTS FOR CANADA

In order to formulate scientifically sound policies to address the issue of climate variability and change, the Canadian Government established a Canadian Climate Program in 1978. One of the major thrusts of this program has been to fund research studies to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming expected under a doubled carbon dioxide or equivalent greenhouse gas concentration scenario. These studies, for various regions of the country, as well as other studies carried out in the global context, have provided a great deal of information.

Since 1984, nearly 60 Canadian studies of potential impacts have been completed. Approximately half of these were organized through the Canadian Climate Program and completed, under contract to the Atmospheric Environment Service. In most cases, researchers were provided with the output from one or more GCMs under 2 x CO_2 scenarios - and used these as input into various socio-economic models. Other scenarios, such as analogues of single anomalous years or even decades, were also used.

The following is a summary of Canadian study findings presented on a sectoral basis. The impacts identified are more specific examples of global impacts or those in addition to global impacts identified in the previous section.

5.1 Land and Water Resources

- Water Resources: most scenarios of climate warming lead to a net basin runoff decrease of 25-50% in the Great Lakes-St. Lawrence System resulting in lower lake levels and less hydro-power production; high-latitude watersheds would probably exhibit higher streamflow and floods during the snowmelt season.

- Agriculture: the potential exists for northward expansion of

crops, but this is generally limited by soil capability; pests and plant diseases and the frequency would likely increase; the severity of agricultural drought would likely increase, which could lead to increased demands for irrigation services, and possibly more conflicts with other water users (depending on the hydrologic impacts); economic losses in drought years could be more severe than historical experience indicates.

- Forestry: the potential exists for a northward shift in forest ecosystems with, in some cases, narrower boundaries for some species; an increase in forest damage from pests and fires is likely; probable negative impact on winter logging operations due to warmer, wetter winters in northern areas.

- Freshwater Fisheries: more than 30 new species could invade the Great Lakes from the south while resident species could disappear; melting of the permafrost would disrupt the fish habitat in Northern Canada; in coastal areas fish species may shift from present zones; warmer conditions could be favourable to the continued growth of the aquaculture industry; warmer water could lead to increased phytoplankton production and increases in habitable waters during winter; decreases in summer productivity due to excessively high water temperatures and oxygen depletion may occur; changes in shoreline wetlands due to water level changes (e.g. projected reduction in Great Lakes levels) could affect fish populations.

- Continental Energy: pipelines and other facilities at high latitudes may become more difficult to maintain due to thawing permafrost; the seasonal demand for heating and cooling would probably change thereby affecting domestic power delivery, imports and exports; hydro-power production may be significantly reduced in the Great Lakes System due to projected lower water levels, but there is no consensus for other major watersheds.

- Transportation: increase in ice-free shipping season would occur including Canada's Arctic and Great Lakes, but higher operating costs would result in the Great Lakes owing to projected lower lake levels; a shorter season for winter ice and snow roads in high latitudes would occur.

- Recreation/Tourism: effects are generally positive for summer activities but negative for winter activities in southern regions (e.g. southern Ontario skiing); no consensus exists on impacts in the Rockies due to uncertainties regarding precipitation;

- Natural Hazards: at present, it is uncertain how the frequency of extreme events may be altered but a number of changes are likely; relatively small changes in the mean values of

rainfall and temperature can have a marked effect on the probability, intensity and duration of droughts and floods in regions that are sensitive to these hazards; a lengthening in the open-water season in middle and high latitudes (e.g. Lake Erie, Great Slave Lake), could lead to increases in severe local storms and storm surges along the lakeshore; permafrost degradation, warmer surface water and increases in winter rainfall may lead to increased erosion rates and landslides in high latitudes, shorelines and mountainous areas; increased spring and summer temperatures could lead to increased frequencies of severe thunderstorms, tornadoes, and lightning-induced forest fires.

5.2 Coastal and Offshore

Canada is a coastal nation bordering on three oceans and possessing over 244,000 kilometres of coastline, the longest of any nation in the world. There are a number of major cities and highways bordering on the ocean and many hundreds of fishing villages, involving over one thousand small-craft harbours, and numerous fishing plants. Many native communities are also located close to the shores, near the marine natural resources upon which they traditionally depend for food. Various industries, such as pulp and paper mills, coastal shipping, container ports and oil refineries are also located on the coasts to take advantage of marine transportation. Warming of the global ocean could bring about a sea-level rise due to the thermal expansion of the water column and the melting of some of the glaciers presently on land. A one-metre sea-level rise, for example, would significantly increase the risk of flooding in low-lying coastal areas from high tides, storm surges, river runoff and surf, causing coastal erosion, damage to coastal structures and changes to wildlife and fish habitat. Since a large proportion of the coastline is rocky and rises fairly steeply out of the sea, however, the potential impacts are not expected to be as catastrophic as that of countries possessing much more vulnerable coastal lowlands.

Present estimates of the rate of rise range from 30 cm to 1.1 m over the next century, although in many localities vertical movements of the Earth's crust due to tectonic movements, post-glacial rebound or groundwater extraction can be as large or even larger than changes in global mean sea level. For example, the Gaspé Peninsula is rising as much as +40 cm/century, while Newfoundland, 400 km to the east, is subsiding at about 50 cm/century. A rise in the land would result in a lowering of relative sea level and subsidence would lead to an increase. All of the contributing processes must be integrated to arrive at the net changes of mean sea level, which will be highly variable spatially.

Potentially major impacts, in addition to those identified in Section 4.0, include

- Oceanic changes: marine transportation and safety, ice-breaking requirements and weather patterns will all be affected by changes in the ocean, due to a decrease in the areal coverage and thickness of sea ice; by changes in freeze-up and break-up dates; an increase in iceberg production rates; by large-scale changes in ocean circulations, wave patterns, etc. in response to changing wind patterns; and by changes in temperature, salinity and currents in coastal waters due to an intensified hydrologic cycle.

- Coastal Infrastructure: some coastal residential communities and commercial properties would be at risk (e.g. Vancouver, Charlottetown, Saint John); there would be increased inland flooding, erosion of natural shorelines, and disruption of storm sewers and freshwater supplies.

- Fisheries: changes would occur in the distribution, abundance, species mix and migration routes of fishes; for example, the natural southern limit of salmonids is determined by climatic factors as is the species composition of east coast fisheries. A warming of coastal waters would affect the geographical limits to the range of species such as squid and mackerel on the Atlantic Coast and hake and tuna on the Pacific Coast, possibly leading to increased abundance and new or expanded fisheries. Some northern salmonid populations might experience increased production through more favourable conditions. Our ability to predict the implications for marine species is, however, very limited since the knowledge base is insufficient; additional research is needed.

- Offshore Energy: changes in costs may occur at Arctic Ocean sites owing to reductions in sea ice cover, though the longer open water season may include more severe storms with high waves; iceberg production may increase in the eastern Arctic and Greenland, with subsequent implications for offshore activities near the Atlantic coast; as ocean temperatures increase, there may be an increase in the frequency of tropical storms/hurricanes reaching the Scotia Shelf and other drilling areas in Atlantic Canada.

5.3 Regional Impacts

Although the reliability of impact predictions decreases with decreasing geographical scales - particularly at regional or local scales - the following are highlights of some of the potential regional implications for Canada:

5.3.1 Atlantic Region (New Brunswick, Nova Scotia, Prince Edward Island and Newfoundland)

- Several billion dollars could be lost owing to adverse impacts of sea-level rise on coastal infrastructure;
- Inshore fisheries season would be extended and substantial growth in the aquaculture industry could be expected;
- Less sea ice would form resulting in a reduction in ice-breaking costs, and in a possible decrease in down time for offshore oil and gas exploration rigs; search and rescue costs may increase because of increased commercial, fishery and recreational marine traffic;
- Substantial changes in the agricultural industry could be expected and some existing crop varieties and cropping systems would be less suitable, e.g. the lowbush blueberry industry may benefit from more frost-free days, whereas the potato industry may suffer;
- Runoff and power generation potential could increase in Labrador, but decrease in the Maritimes.

5.3.2 Central Region (Quebec and Ontario)

- Great Lakes shipping volumes would likely increase because of the extended ice-free season; greater costs, however, would occur because of lower water levels;
- Resident fish species could disappear from the Great Lakes; studies have shown that more than 30 new species may invade the Great Lakes;
- Residential winter heating requirements would decrease, but summer cooling requirements may increase; hydro-electric power generation would decrease in southern regions, but increase in northern regions;
- Growing season would be lengthened by about 50 days in northern areas and by about 60 days in southern areas; moisture stress in the south would decrease the yield of current major crops; grain, corn, wheat and soyabeans would become viable crops for northern areas, where soils permit;
- Major marsh areas would dry out, reducing the wildlife habitat;
- Potential would exist for the eventual northward

displacement of forest zones; for a future increase in hardwood forests and decrease in boreal forests; forest growth rate would increase; damage to forests from disease, insects and fire may increase; winter logging operations would be reduced;

- The number of ski-days in southern Quebec could be decreased by 40-70%; and the Southern Georgian Bay ski industry in Ontario could be eliminated.

5.3.3 Prairie Region (Manitoba, Saskatchewan and Alberta)

- Considerable latitude exists for the northward migration of agriculture in the three prairie provinces under an altered climate; most of the available land could support forages, a profitable crop under dry land and irrigation; agricultural expansion into other crops could become feasible in the Peace River/Athabaska regions;

- Soil moisture conditions would probably worsen in the Saskatchewan River Basin, but there is no consensus on changes in streamflow in the main tributaries of the Basin because of the uncertainty regarding projected changes in the Rocky Mountain snowpack, the main source of runoff; the frequency and severity of agricultural drought appears likely to increase; further assessments of precipitation intensity and duration have to be undertaken before statements on water supplies can be made;

- Saskatchewan could expect occasional extreme drought years (such as 1961) with losses to the agricultural economy, as estimated by one study, of about 2 billion dollars and 8,000 person-years;

- The carrying capacity of prairie grassland would decline and forage requirements for livestock would decrease as a result of higher temperatures; pests and diseases would increase affecting both livestock and crops;

- Although yield losses are expected for some crops in some areas, the aggregate sector may be able to adjust to offset these losses by seeding drought- and disease-resistant crops, or by adjusting the cropping and land use patterns or mix of farming across a given region.

5.3.4 Pacific Region (British Columbia and Yukon)

- Protective measures may have to be taken for low-lying coastal areas that would otherwise be flooded owing to sea-level rise;

- Increased precipitation is likely in winter, especially along the coast, probably resulting in more frequent landslides and local floods; changes would be smaller in the summer, with lower amounts possible in the interior;

- Pacific salmon and other fish that migrate up river systems may be adversely affected by warmer, sub-optimum, water temperatures, which could result in severe prespawning mortality;

- Susceptibility of offshore fish species to climate change would vary with the species; warming of Pacific waters would increase stocks of species migrating from the south (e.g., tuna, hake and squid);

- An increase in fire, pests and disease hazards would probably be the largest effect on West Coast forests.

5.3.5 Northern Canada

- Displacement of storm tracks northward and greater open sea areas would increase Arctic precipitation, particularly in fall and winter; snow seasons would be shorter but accumulations greater, resulting in greater spring floods in Arctic and subarctic rivers;

- Ice duration would be shorter and ice thickness would decrease significantly; this implies shorter seasons for winter (ice) roads and longer seasons for open-water barge traffic and shipping;

- Slow permafrost decay and thickening of the active layer would result in increased land instability in discontinuous zones; limits of permafrost zones would retract northward slowly over the centuries affecting buildings and pipelines;

- Changes in wildlife habitat and migration routes would affect native subsistence and way of life;

- Coastal erosion and degradation of shorelines will accelerate due to sea level rise and reduction in coastal permafrost.

5.4 Future Direction in Impact Studies

Most studies of potential impacts have employed a scenario approach, usually assuming a climate expected with a doubling of atmospheric CO_2 (or its equivalent). To isolate the effects of climate change, other factors that influence social and economic activity (e.g. demographics, technology) are assumed not to change.

The coarse scale of GCM outputs and their limited information about properties of climate other than temperature have necessitated other bold assumptions in the impacts work. In addition, the question of adaptation, both to changes in average conditions and to the known variability of climate, has not been well addressed. Despite these limitations, the research has served to identify a range of possible implications of climate change.

Future research initiatives include integrated multi-sectoral regional studies; sensitivity analyses to identify vulnerabilities; and studies of extreme events. These needs are detailed in the next section.

6.0 REDUCING THE UNCERTAINTIES: ANALYSIS, RESEARCH AND DATA NEEDS

Canadians, through their governments, are facing a policy dilemma concerning their response to the greenhouse gas-climate change issue. Decisions will have to be made on limitation measures and adaptive strategies in the absence of full and complete scientific knowledge. These decisions will impact directly on economic and industrial development, ecological health, safety and the sustainable development of the country.

There are five main responsibilities Canada has, both to itself and to the world community, in seeking to improve our knowledge and prediction capabilities. To help reduce the uncertainties outlined in Section 3.0, Canada must support more vigorously:

(1) policy research on greenhouse gas limitation strategies and on adaptation or responses to climate change,
(2) a new thrust towards integrated regional studies of the impacts of climate change,
(3) basic collection, archiving and analysis of data for its own territory,
(4) climate system modelling efforts via a dedicated super-computer and more staff,
(5) significant participation in global research efforts to better understand and quantify the processes influencing the climate system, particularly as they affect Canada.

The most urgent need is to strengthen policy-oriented studies. Little work has been done in Canada to date on policy studies to test, with econometric and other models, various strategies for limiting greenhouse gas emissions, and to adapt socio-economic systems to emission limitation activities and to the warming of the climate.

The second is a pressing need to pursue several new directions in impacts work. One thrust involves integrated, multi-sectoral analyses for selected regions (the Mackenzie Basin, the Great Lakes Basin, the Prairies/Great Plains). These comprehensive regional

investigations should allow other economic, social and physical factors and feedbacks to be incorporated, and should consider response strategies. A better understanding of the prospects for adaptation in economic activities should emerge from sensitivity studies. These are not based on a single future climate scenario, but identify the processes by which economic and social systems respond to environmental change. Of course, Canada is likely to be influenced not only by changes in domestic climate, but also by climate-related international developments, such as those resulting from international trade, environmental emigration, and possible challenges to sovereignty. In addition, impacts work is already being extended by considering more than just climatic averages. The variability of climate, both now and in the future, is recognized in studies of the effects of extreme events and interannual variability (e.g. drought frequency, duration and degree) on economies and communities.

The next requirement is to improve and maintain an adequate basic data base for the Canadian land mass and territorial seas, through both conventional network observation and remotely-sensed data from satellites. In addition to these data collection efforts there is an urgent need to facilitate access to digital data bases through standardized catalogues and directories. A third component of a comprehensive data program involves the reconstruction of past climates. A number of powerful tools have been developed that are now finding application to the present problem of differentiating between natural variations in climate and the large-scale effects human activity may be having on present and future climates. These tools - palaeotological, chemical and radiometric dating methods; coring of the deep ocean, glacial ice and lake deposits; proxy temperature indicators such as oxygen 16/18 and water/deuterium ratios; fossil and sub-fossil remains of plants and animals; measurements of the extent and rate of physical changes in the landscape - are part of a growing worldwide knowledge base. Paleoclimatic information is also increasingly valuable in testing and calibrating mathematical climate models.

Observations of the Earth from space provide a unique method of measuring a number of atmospheric, ice and ocean parameters, as well as vegetation cover and land use across the continents. Such observations will thus be used extensively to monitor many of the national and regional impacts noted in Section 5.0. Satellite observations, however, complement but do not replace in-depth observations from surface-based stations.

There is evidence of serious erosion of the key observational networks since the mid 1970s, mainly because of budget and human resource constraints by both federal and provincial governments. For example, 5 of Canada's 37 upper-atmosphere observing stations have been closed since the 1970s where the network was already inadequate by global standards. Especially critical baseline data needs from surface networks and satellites are:

(1) expansion of the very small network of climatological reference stations for detecting climate change and trends,
(2) measurements of changes in atmospheric and oceanic chemistry,
(3) assessments of changes in land use, deforestation and afforestation rates,
(4) strengthening of satellite observations of the Canadian land mass and adjacent oceans.

There is also a need to build on Canada's initial success in the field of GCMs. Development by the Canadian Climate Centre of a state-of-the art model has permitted scientists studying the potential social and economic impacts of climate change in Canada. to conduct their research with much finer-scale projections of future climate than hitherto available from models developed in other countries. This kind of climate system modelling is the main synthesizing tool for pulling together all of the information on climate, ice, snow, oceans, vegetation and land cover, to predict the consequences of changes in atmospheric composition and land use. An essential action needed to retain active participants in this vital research, is to provide a dedicated super-computer system for use as a facility by climate modellers, not only general circulation modellers, but also oceanographers, biologists and chemists modelling subsystems of the whole climate system. Other countries have already made major new commitments in this field, e.g. Australia with $8 million per annum and 25 new positions: U.K. and West Germany, each with centres and buildings with dedicated computers and 60 to 70 new staff.

Lastly, the models that simulate the climate system depend not only on an adequate quantity of reliable data, but also on a quantitative understanding of the many processes and "feedback loops" that affect the climate system. Research on these processes is a main focus of the international Global Change Research Program with its twin pillars, the World Climate Research Program (WCRP) and the International Geosphere Biosphere Program (IGBP). Internationally, these umbrella programs are coordinated primarily by the World Meteorological Organization and the non-governmental International Council on Scientific Unions. WCRP projects of particular importance, requiring substantial Canadian support, are WOCE, the World Ocean Circulation Experiment, ISCCP, the International Satellite Cloud Climatology Program, and GEWEX, the Global Energy and Water Cycle Experiment. Under the IGBP, the IGAC, International Global Atmospheric Chemistry, and JGOFS, Joint Global Ocean Flux Study and the GCTE, Global Change and Terrestrial Ecosystem, projects are of great importance. Canada's contributions to these global projects should be based on work to understand the processes over the Canadian land mass and adjacent seas, and designed to help improve predictions of Canada's future climate.

7.0 THE INTERNATIONAL CONTEXT

The need for an agreed federal-provincial policy concerning greenhouse gas emission limitations, afforestation and science, is urgent. The Ministerial portion of the Second World Climate Conference, Geneva 29 Oct. to 7 Nov. 1990, will be the first occasion for political commitments to emission controls and other actions on the basis of the IPCC report. This will be followed immediately by discussions in the UN General Assembly, New York, and the opening of formal negotiation of a global convention on climate change by January 1991, with a view to concluding an agreement by the time of the UN Conference on Environment and Development, Brazil, June 1992. The state of the atmospheric environment also dictates early international action. At present rates of emissions and land use changes, each decade of delay commits the atmosphere of our planet to a further 8% increase in greenhouse gases over pre-industrial levels.

Strong pressure is building for early global action, especially from countries of the European community and Scandinavia. In addition, many developing countries are beginning to see global warming and sea-level rise as an issue of economic, social and environmental equity between North and South. The industrialized world has caused the problem, using up most of the atmosphere's resiliency, and bears a special responsibility, in the view of developing nations. They believe that the industrialized nations must redress global environmental damage, and assist countries of the South economically and technically, to follow development pathways with minimum damage to the world's environment.

As international negotiations begin to develop, countries will probably be called upon to make some commitments on several issues. The first is on emissions of greenhouse gases. One way of considering annual national changes in emissions of CO_2, and of some portion of the other important greenhouse gases is to use an approach followed in the energy sub-group of IPCC. This was to consider the annual change from a country to be a product of (1) the change in Gross Domestic product, (2) the change in energy intensity (i.e. the energy consumption per unit of GNP) and (3) the change in carbon intensity (i.e. the change in carbon emitted per unit of energy consumed. In international discussions no one will expect a country to voluntarily limit its growth in GNP, but all countries, especially high-energy-using industrialized countries like Canada, will be expected to make commitments to long-term reductions in factors (2), and (3), energy intensity and carbon intensity.

In addition, Canada is looked upon as having enormous potential to increase the sinks for CO_2, especially through an aggressive afforestation program. Serious consideration must be

given to replant the extensive NSR (not sufficiently re-established) lands and to afforest large underused areas in Canada.

The pressures from Europe and from the developing world, and the strong environmental views of the Canadian public, make the early formulation of a responsible Canadian policy imperative. That policy must address issues of reducing energy intensity and carbon intensity; reforestation; reducing the economic and scientific uncertainties; and assistance to developing countries. It is hoped that this summary will assist in formulating policy.

8.0 CONCLUSIONS

There is a strong consensus in the scientific community, both in Canada and globally, that the observed and continuing increases in greenhouse gas concentrations due to human activities will result in an unprecedented global warming and sea-level rise, unless emissions are substantially reduced. Such changes would occur over the next 100 years, not necessarily at a steady pace, and for some countries could have catastrophic results. Canada could anticipate some positive and many negative impacts directly, but could not avoid major effects due to significant changes in world trade patterns, especially in agriculture, and due to the creation of millions of environmental refugees seeking higher ground, as sea level rises.

The energy sector merits particular attention in developing strategies to limit greenhouse gases. Worldwide during the 1980s, energy uses accounted for about one half of the enhanced radiative forcing by greenhouse gas increases, with one quarter coming from CFCs and the remainder from land use activities (forest reduction and agriculture). With actions under way to control CFC emissions within the framework of the Montréal Protocol, but allowing "business as usual" emissions of the other greenhouse gases, it is expected that in the period 2000 to 2025, the energy sector would contribute almost two thirds of the increases, with deforestation and agriculture producing about 30%.

Canada will be expected, both internationally and domestically, to be a partner with other countries in addressing the global limitation of greenhouse gas concentrations. This will require a vigorous energy efficiency and conservation program, a gradual move away from fossil fuel energy sources, and major efforts at reforestation. Many actions would be beneficial in themselves; other could have significant costs to the economy and society.

In addition to taking steps with other countries towards reducing atmospheric concentrations of greenhouse gases, a well-rounded Canadian policy should also include three additional components: development of a set of adaptation strategies; support of studies, research and monitoring to reduce scientific and

economic uncertainties; and initiation or implementation of a plan for assistance to developing countries.

At the most vigorous level imaginable, global efforts to limit greenhouse gas emissions and to reforest will not be able to prevent some global warming. Thus, adaptation to a world with a changed climate will be necessary. Adaptation in the face of the likely impacts of climate change, should involve developing plans for "hedging our bets on the warm side," in such matters as selecting appropriate tree species for future rotations, for meeting changing seasonal energy demands, and for improved coastal zones.

Section 6.0 outlines the types of studies, research and monitoring needed to reduce the scientific uncertainties, and to provide the analytical background for selecting optimum limitation and adaptation strategies. While research on, and measurement of, the natural system and its modification by human activities must be intensified, the most urgent need is a series of independent, analytical studies to determine the most cost-effective approaches to reduce human contributions to greenhouse gas concentrations.

Developing countries, in general, wish to be active partners in global efforts to address the issue of greenhouse gases and climate change. However, most do not have the financial means for the initial capital investments in energy conservation, non-fossil fuel use, and reforestation, even if, in the long run, many of these investments would yield economic benefits. Some means of overcoming those initial hurdles must be found by the industrialized world if a truly global effort is to be launched.

These issues are urgent. Each decade that passes commits us to a further 8% increase over pre-industrial levels in greenhouse gas radiative forcing. Negotiation of an effective global convention by the time of the 1992 UN Conference on Environment and Development will require early policy decisions in all countries.

Environnement Canada
Environment Canada

Canada

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

SCC 88-01 Les répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les province des Prairies

SCC 88-02 Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer à Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard

SCC 88-03 Les répercussions d'un changement climatique sur l'industrie du ski alpin au Québec

SCC 88-04 Les perspectives économiques liées aux répercussions de la variabilité et du changement climatiques : rapport sommaire

SCC 88-05 Les répercussions du changement climatique sur le tourisme et les loisirs en Ontario

SCC 88-06 L'évaluation des effets du changement climatique sur l'agriculture en Saskatchewan, au Canada

SCC 88-07 L'évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la région de l'Atlantique : phase I

SCC 88-08 Les répercussions d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec

SCC 88-09 Le changement climatique causé par le CO_2 en Ontario : interdépendances et stratégies en matière de ressources

SCC 89-01 Le réchauffement climatique et la position relative du Canada en agriculture

SCC 89-02 L'exploration de l'incidence du changement climatique sur la forêt boréale et l'économie forestière de l'ouest du Canada

SCC 89-03 Les répercussions du changement climatique sur le parc national de Prince-Albert, en Saskatchewan

SCC 89-04 Les répercussions d'un changement climatique sur les besoins en eau des municipalités et sur l'industrie du golf au Québec

SCC 89-05 Les effets du climat et du changement climatique sur l'économie de l'Alberta

SCC 90-01 Les répercussions du changement de climat sur les petites localités côtières de la région de l'Atlantique, au Canada

SCC 90-02 Les répercussions du changement climatique à long terme sur le transport au Canada

SCC 91-01 Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique

Environnement Canada Environment Canada

Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique

Établi pour le

Sommaire du changement climatique
Service de l'environnement atmosphérique

Préparé par le

CONSEIL DU PROGRAMME CLIMATOLOGIQUE CANADIEN

La présente publication s'inscrit dans le cadre des rapports sur l'état de l'environnement

IMPRIMÉ SUR
DU PAPIER RECYCLÉ

Pensez à recycler

Think recycling

DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ

La présente publication renferme une déclaration, préparée par le Conseil du programme climatologique canadien, sur le point de vue scientifique concernant le changement climatique et ses répercussions sur le Canada. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernement canadien ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir à titre gracieux des exemplaires de cet ouvrage, écrire à la :

Division des services climatologiques
Centre climatologique canadien
4905, rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4
Tél. : (416) 739-4331/4328

Publié avec l'autorisation du
ministre de l'Environnement

©Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1991

N° de catalogue EN57-27/1991-01
ISBN 0-662-58041-9
ISSN 0835-3980

AVANT-PROPOS

En juin 1988, un grand groupe de décisionnaires, de scientifiques, d'économistes et d'autres experts de 46 nations, qui participaient à la Conférence mondiale sur l'atmosphère en évolution tenue à Toronto, a déclaré ceci: "L'humanité se livre sans frein à une expérience inconsciente qui touche l'ensemble du globe et dont les conséquences définitives ne le céderaient en rien, sinon à une guerre nucléaire mondiale." Les participants faisaient allusion au rapide changement que subit la composition de l'atmosphère terrestre du fait de l'émission de polluants par l'homme.

Sept mois plus tard, en janvier 1989, l'Assemblée générale des Nations Unies a adopté la "résolution de Malte", qui se fait l'écho des préoccupations exprimées dans la déclaration de la conférence de Toronto et qui incite les gouvernements et les organismes du monde entier à considérer le climat comme une question prioritaire. En février, à la Conférence internationale de New Delhi sur le réchauffement du globe et le changement climatique: Perspectives pour les pays en voie de développement, les participants ont déclaré que le réchauffement du globe constituait "la plus grande crise jamais affrontée collectivement par l'homme". Le 10 mars 1989, les chefs d'état de 24 nations ont signé la "Déclaration de La Haye", suivant laquelle "Aujourd'hui, les conditions mêmes de vie sur notre planète sont compromises par les graves attaques que subit l'atmosphère terrestre."

Il est de plus en plus manifeste, d'après les faits scientifiques, que l'atmosphère terrestre fait l'objet d'importants changements. Ceux-ci ont, à certains égards (comme la concentration du CO_2), dépassé les limites des fluctuations atmosphériques naturelles survenues depuis au moins les 100 000 dernières années. D'après les projections, ils s'intensifieront beaucoup à la longue. Il est fort probable que le monde que nous léguerons aux prochaines générations présentera un climat différent de tout autre climat que l'humanité ait déjà connu.

Nombre d'études internationales ont déjà tenté d'évaluer les implications de ces changements. Au Canada, le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada joue dans ce domaine un rôle de précurseur. En effet, en 1984, il a mis en application un programme d'évaluation et de détermination des répercussions sociales et économiques éventuelles du réchauffement climatique. On a conçu la présente série de publications pour fournir, sous forme de résumés, les résultats de ces études et pour dégager les autres questions liées au changement climatique.

Len Good

Len Good
Sous-ministre
Environnement Canada

TABLE DES MATIÈRES

	Preface	i
1.0	Sommaire	1
2.0	Introduction	5
3.0	Le consensus des scientifiques sur la question	8
4.0	Les répercussions socio-économiques : les effets sur la planète	18
5.0	Les répercussions nationales	20
	5.1 Les ressources terrestres et aquatiques	20
	5.2 Les côtes et les mers	22
	5.3 Les répercussions régionales	24
	5.4 L'orientation future des études d'impact	27
6.0	Rétrécir la marge d'incertitude : les besoins en analyse, en recherche et en données	28
7.0	Le contexte international	31
8.0	Conclusion	32

PRÉFACE

Les précédents numéros de la présente publication rapportaient les résultats des études effectuées en vue de chercher à découvrir les répercussions possibles du réchauffement de la planète sur les Canadiens. Une liste des titres déjà publiés dans le cadre de cette série figure au verso de la page couverture.

Le présent rapport comporte un résumé ou un énoncé des perspectives scientifiques internationales actuelles sur le changement climatique. Le présent rapport a été préparé par le Conseil du programme climatologique canadien (CPCC), un organisme constitué en vue de coordonner et de faire des recommandations sur l'orientation et les priorités du programme climatologique canadien. Le Conseil se compose d'un certain nombre de hauts fonctionnaires fédéraux, de membres d'organismes provinciaux (actuellement du Nouveau-Brunswick, du Québec, de l'Ontario, de la Saskatchewan et de l'Alberta), de professeurs d'universités et de représentants du secteur privé.

Le Conseil livre ici un court résumé de l'information scientifique qui existe actuellement sur le changement climatique dû à l'accroissement des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre et sur les répercussions sociales et économiques que ce changement pourrait avoir sur le Canada et le reste du monde. Pour produire le présent document, le Conseil s'est largement inspiré des rapports présentés en août 1990 par les Groupes de travail I et II du Groupe d'experts intergouvernemental pour l'étude du changement climatique (IPCC). Les travaux du Groupe d'experts, formé par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), ont nécessité la collaboration d'un millier de spécialistes de plus de 60 pays. Les rapports produits sont donc le résultat d'un consensus international d'une ampleur jamais égalée jusqu'à ce jour. En outre, le CPCC présente ici les résultats d'études menées dans le cadre du programme canadien des incidences climatologiques et par divers ministères et organismes fédéraux.

pour D. Kirk Dawson
Directeur général
Centre climatologique canadien

Le programme climatologique canadien et le Conseil du programme climatologique

Le programme climatologique canadien (PCC) a été mis sur pied en 1979 pour coordonner les études climatologiques effectuées par tout le pays, pour améliorer les connaissances climatologiques et pour susciter un plus grand intérêt à l'égard de l'information climatologique.

Un haut comité national, le Conseil du programme climatologique canadien, a été formé pour formuler des recommandations sur l'orientation et les priorités du programme et pour fournir la liaison et la direction nécessaires à la mise en oeuvre efficace du programme à l'échelle nationale et internationale. Le lecteur trouvera la liste des membres sur la page suivante.

Voici quelques grandes activités entreprises par le Conseil depuis le début de son établissement :

- des commentaires sur l'élaboration du Plan vert du Canada et de la stratégie de mesures nationales sur le réchauffement de la planète;
- la mise en oeuvre d'une série de colloques entre le Canada et les É.-U. sur les répercussions du changement climatologique; le parrainage de conférences, d'ateliers et de séminaires;
- la publication des exigences et des recommandations, ainsi que d'un plan d'action pour le PCC;
- la préparation de sommaires et de rapports pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement (sur demande).

MEMBRES DU CONSEIL DU PROGRAMME CLIMATOLOGIQUE CANADIEN

M. J.P. Bruce
(président)

M. K. Babcock
Énergie, Mines et Ressources Canada

M^me^ Betty Collins
Saskatchewan Environment and Public Safety

M. D.A. Davis
Conservation et Protection
Environnement Canada

M^me^ E. Dowdeswell
Service de l'environnement atmosphérique
Environnement Canada

M. M. Ferland
Direction de la météorologie
Environnement Québec

M. Ken Hare
Président, Advisory Board
Institute for International Programs, University of Toronto

M. H. Hill
Administration du rétablissement agricole des Prairies

M. G. Holland
Sciences océanographiques
Pêches et Océans Canada

M. P.M. Higgins
Conservation et Protection
Environnement Canada

M. Jim Knight
Environnement Nouveau-Brunswick

M. R.M. Koerner
Levés géologiques du Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

M. Jag Maini
Secteur des politiques
Forêts Canada

M. K.A. Mattila
Institut canadien des produits pétroliers

M. A.J. Malinauskas
(secrétaire)
Environnement Canada

M. G.A. McBean
University of B.C. and World Climate Research Program

M. Peter Morand
Conseil canadien des sciences naturelles et de la recherche en ingénierie

M. J.B. Morrissey
Secteur des sciences
Pêches et Océans Canada

M. L.A. Mysak
Université McGill

M. J.H. O'Donnell
Énergie, Mines et Ressources Canada

M. Art Olson
Direction de la recherche
Agriculture Canada

M. E. Piche
Ministère de l'Environnement de l'Ontario

M. H.S. Sandhu
Environnement Alberta

M. Ambury Stewart
Association météorologique du secteur privé du Canada

M. Robert W. Stewart
University of Victoria

M. J. Stone
Service de l'environnement atmosphérique
Environnement Canada

M. J. Bryan Taylor
Conseil national de recherches Canada

M^me^ Anne Whyte
Présidente, Programme canadien des changements à l'échelle du le globe

1.0 SOMMAIRE

Lors de la réunion du Groupe d'experts intergouvernemental pour l'étude du changement climatique (IPCC), tenue en août 1990, le Premier ministre de la Suède, M. Carlson, a déclaré qu'aucune génération de dirigeants politiques n'avait eu jusqu'à maintenant à résoudre un problème aussi ardu que celui de l'accroissement de l'effet de serre et du changement climatique qui en découle. En effet, les mesures qu'adopteront les nations pour s'attaquer à ce problème influeront grandement sur les politiques mondiales en matière d'environnement, d'énergie et de ressources naturelles, ainsi que sur les rapports commerciaux et économiques entre les pays en développement et ceux plus industrialisés.

Selon les résultats des mesures scientifiques effectuées pendant de nombreuses années à des stations d'observation du Canada et d'ailleurs, il est indéniable que les concentrations atmosphériques des « gaz à effet de serre » - dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4), chlorofluorocarbures (CFC), oxyde nitreux (N_2O) et ozone (O_3) troposphérique - augmentent rapidement. Actuellement, les quantités atmosphériques des deux premiers gaz dépassent le niveau le plus élevé atteint au cours des 160 000 dernières années. L'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre - qui est dû à des activités humaines comme l'utilisation de combustibles fossiles, divers procédés industriels et les changements dans l'exploitation des sols - intensifie l'effet de serre naturel, si bien que la surface de la Terre se réchauffe davantage.

Si l'on ne réagit pas, on continuera de voir augmenter fortement les émissions de gaz à effet de serre provenant de la plupart des sources actuelles. Selon le scénario « maintien du statu quo » de l'IPCC, si aucune mesure corrective n'est prise, les émissions de CO_2, qui causent plus de la moitié de l'effet de serre d'origine anthropique, s'élèveront de 11 à 15 milliards de tonnes vers 2025, alors qu'elles étaient d'environ 7 milliards de tonnes en 1985. Il se produira aussi une augmentation rapide des quantités d'autres gaz à effet de serre, à l'exception des CFC, dont les concentrations diminueront grâce au Protocole de Montréal. Malgré les réductions de CFC, c'est au secteur énergétique qu'il faudra attribuer les deux tiers environ de l'effet de serre d'origine anthropique entre 2000 et 2025.

D'après ces projections et le résultat des meilleurs modèles mathématiques utilisés pour simuler le système climatique terrestre, l'IPCC a prédit que la température moyenne à la surface du globe dépasserait celle mesurée avant la révolution industrielle de plus de 2 °C vers 2050 et de 4 °C avant la fin du XXI^{e} siècle. Un tel degré de changement jamais enregistré dans l'histoire des temps fera monter le niveau de la mer, phénomène qui sera catastrophique pour certains pays ayant de basses zones côtières.

Au Canada, le changement climatique sera différent de celui qu'on observera à l'échelle du globe. Le degré de réchauffement devrait être beaucoup plus élevé dans l'Arctique canadien pendant l'hiver. En outre, l'accroissement de la température au centre du continent nord-américain, supérieur à la moyenne, s'accompagnera d'une baisse de la teneur en eau des sols en été. Comme le climat varie naturellement d'une année à l'autre, la hausse de la température ne sera pas constante. Bien que tous les modèles climatiques s'accordent assez bien sur les caractéristiques à grande échelle et à la grandeur du globe, un certain nombre de limites dont la résolution spatiale et la simulation incomplète de certains processus (nébulosité, glace de mer, cycle de l'eau et océans) les rendent moins fiables aux échelles régionale et locale.

Selon le scénario du statu quo, les répercussions possibles du changement climatique qui pourraient être particulièrement sérieuses au Canada comprennent notamment :

- le déplacement sur plusieurs centaines de kilomètres vers le nord de la limite septentrionale des zones climatiques au cours des cinquante prochaines années; l'aire de répartition des espèces végétales et animales ne s'étendrait pas à la même cadence, de sorte que le changement climatique pourrait devenir trop rapide pour certaines, qui disparaîtraient;

- l'extension vers le nord de certaines cultures, là où les sols s'y prêteront, jusqu'à la frontière méridionale du Bouclier canadien; l'augmentation du risque de sécheresse surtout dans les Prairies; la modification du commerce international des produits agricoles;

- l'extension vers le nord d'écosystèmes forestiers, mais avec des frontières plus étroites pour certaines essences; l'augmentation probable des dangers d'incendie, des invasions d'insectes et des maladies;

- d'importants changements dans les ressources en eau; diminution possible de 25 à 50 % du ruissellement net de bassin dans le réseau des Grands Lacs et du Saint-Laurent; la baisse de la teneur en eau des sols dans les Prairies; la hausse du niveau des crues dans les cours d'eau du Nord;

- des incidences néfastes sur la santé associées à l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur dans les villes et à l'extension vers le nord des maladies tropicales;

- une importante dégradation du pergélisol au cours des quarante à cinquante prochaines années; les écosystèmes et les habitats fauniques des régions touchées pourraient s'en ressentir fortement, ce qui désavantagerait les autochtones du Nord, sans compter que la solidité de structures comme les pipelines et les bâtiments serait gravement menacée;

- l'accélération de la hausse du niveau de la mer et la modification de la température et de la circulation océaniques; cette hausse accroîtrait l'érosion littorale, modifierait l'écologie des zones côtières, toucherait les terres humides et d'importantes pêcheries et nécessiterait la construction d'ouvrages fort coûteux de protection des côtes; ces changements modifieraient la répartition et les voies migratoires des poissons;

- la dévastation de grandes agglomérations littorales, en particulier dans les pays en développement et les îles ayant de basses terres, par suite de la montée du niveau des mers et des violentes tempêtes tropicales; plusieurs millions de personnes devront chercher refuge en terrain élevé.

Tant au Canada qu'à l'étranger, les citoyens exercent de plus en plus de pression auprès des gouvernements pour qu'ils réagissent efficacement à cette situation. À l'échelle internationale, on a proposé et annoncé l'adoption de mesures lors de conférences, notamment la Conférence de Toronto tenue en 1988, et des réunions de Noordwijk et de Bergen. En ces occasions, les dirigeants de différents pays, dont le Canada, ont adhéré au principe selon lequel il faut faire preuve de circonspection en vue d'assurer un développement durable. En d'autres termes, quand on a des raisons d'appréhender des dommages graves et irréversibles, il faut se garder d'invoquer le manque de données scientifiques pour tarder à prévenir la dégradation de l'environnement. L'IPCC a présenté son premier rapport d'évaluation définitif, et un certain nombre de pays européens, ainsi que le Canada, se sont engagés à réduire ou à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre, surtout en améliorant le rendement énergétique et en adoptant des mesures de substitution des combustibles. Il faudra élaborer et mettre en oeuvre des stratégies nationales de réduction et d'adaptation, mais le Canada ressent aussi un urgent besoin de recherches plus poussées, qui permettront de mieux comprendre et de quantifier les processus qui influent sur le système climatique, ainsi que d'un système mondial de surveillance de l'environnement.

Par suite de la deuxième Conférence mondiale sur le climat, tenue du 29 octobre au 7 novembre 1990, et d'un débat sur cette question à l'Assemblée générale des Nations Unies, on entamera des négociations officielles en vue d'adopter une convention internationale sur le changement climatique. Les pays en développement en profiteront pour demander aux pays les plus industrialisés de s'engager sur les points suivants :

1) la réduction des émissions de gaz à effet de serre;
2) la mise en oeuvre des programmes de reboisement;
3) l'appui à l'exécution d'études, de recherches et d'activités de surveillance;

4) l'octroi de fonds aux pays en développement pour les aider à participer aux mesures adoptées et à s'adapter au changement climatique;
5) la préférence accordée quant au transfert de technologies favorisant le développement durable.

Il faudra peut-être engager des sommes considérables pour espérer résoudre entièrement les problèmes et modifier les modes de vie, mais nombre des mesures qu'on peut prendre immédiatement, comme la conservation de l'énergie, le rendement énergétique et le reboisement, peuvent être en elles-mêmes bénéfiques. Les Canadiens s'attendent que les autorités politiques se mettront à la tâche sans tarder.

L'ÉNONCÉ DU CONSEIL DU PROGRAMME CLIMATOLOGIQUE CANADIEN SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SES RÉPERCUSSIONS SUR LE CANADA : LES PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

2.0 INTRODUCTION

Dans les conditions naturelles, le climat varie dans le temps à différents degrés, sur des centaines de millions d'années ou d'une année à l'autre. L'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires, qui se produit sur des centaines de milliers d'années, a prédominé l'histoire climatique de la Terre. Au fil des âges, la température moyenne de la surface terrestre a varié de 5 à 7 °C tout au plus. Or, il apparaît que les activités humaines qui accentuent l'effet de serre naturel entraîneront, au cours des cent prochaines années, un réchauffement encore jamais observé dans l'Histoire. Ce réchauffement pourrait avoir de profondes répercussions sur l'environnement et sur nos activités.

Les mesures effectuées à Alert (T. N.-O.), à l'île de Sable (N.-É.) et à Cap Saint James (C.-B.) confirment que les concentrations de gaz à effet de serre ont tendance à augmenter rapidement à l'échelle planétaire. La figure 1 montre l'augmentation des concentrations de CO_2 atmosphérique au Canada. La figure 2 présente l'augmentation des concentrations mondiales moyennes de CO_2, de CH_4, de N_2O et de CFC. Cette augmentation à l'échelle planétaire résulte principalement de l'utilisation de combustibles fossiles (produisant CO_2, CH_4, N_2O et O_3), de changements dans l'utilisation des terres (produisant CO_2 et CH_4) et de l'émission de certaines substances chimiques industrielles telles que les CFC. Ces gaz absorbent le rayonnement infrarouge provenant de la surface terrestre. Dans les conditions naturelles, le CO_2, le CH_4 et la vapeur d'eau sont les principaux éléments qui contribuent à maintenir notre planète à une température supérieure de près de 35 °C à ce qu'elle serait autrement, et donc habitable. La vapeur d'eau, dont les concentrations varient beaucoup dans le temps à un endroit donné, est la principale cause de l'effet de serre « naturel ». Or, ce dernier n'est pas source d'inquiétude, c'est plutôt la rapidité de son augmentation depuis la révolution industrielle qui l'est. Les études théoriques, les modèles numériques de simulation du climat et l'analyse de carottes de glace remontant jusqu'à 160 000 ans révèlent qu'au cours du prochain siècle l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre produira un réchauffement planétaire à un rythme encore jamais observé dans l'histoire de l'humanité.

En 1987, le Canada occupait le douzième rang des pays qui contribuent à l'accroissement de l'effet de serre : nous étions responsables d'environ 2 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. De plus, nos émissions par unité du produit national brut comptent parmi les plus élevées dans le monde industrialisé. Il existe plusieurs raisons à cela : le climat froid, l'éloignement des centres urbains les uns des autres et l'étendue des régions

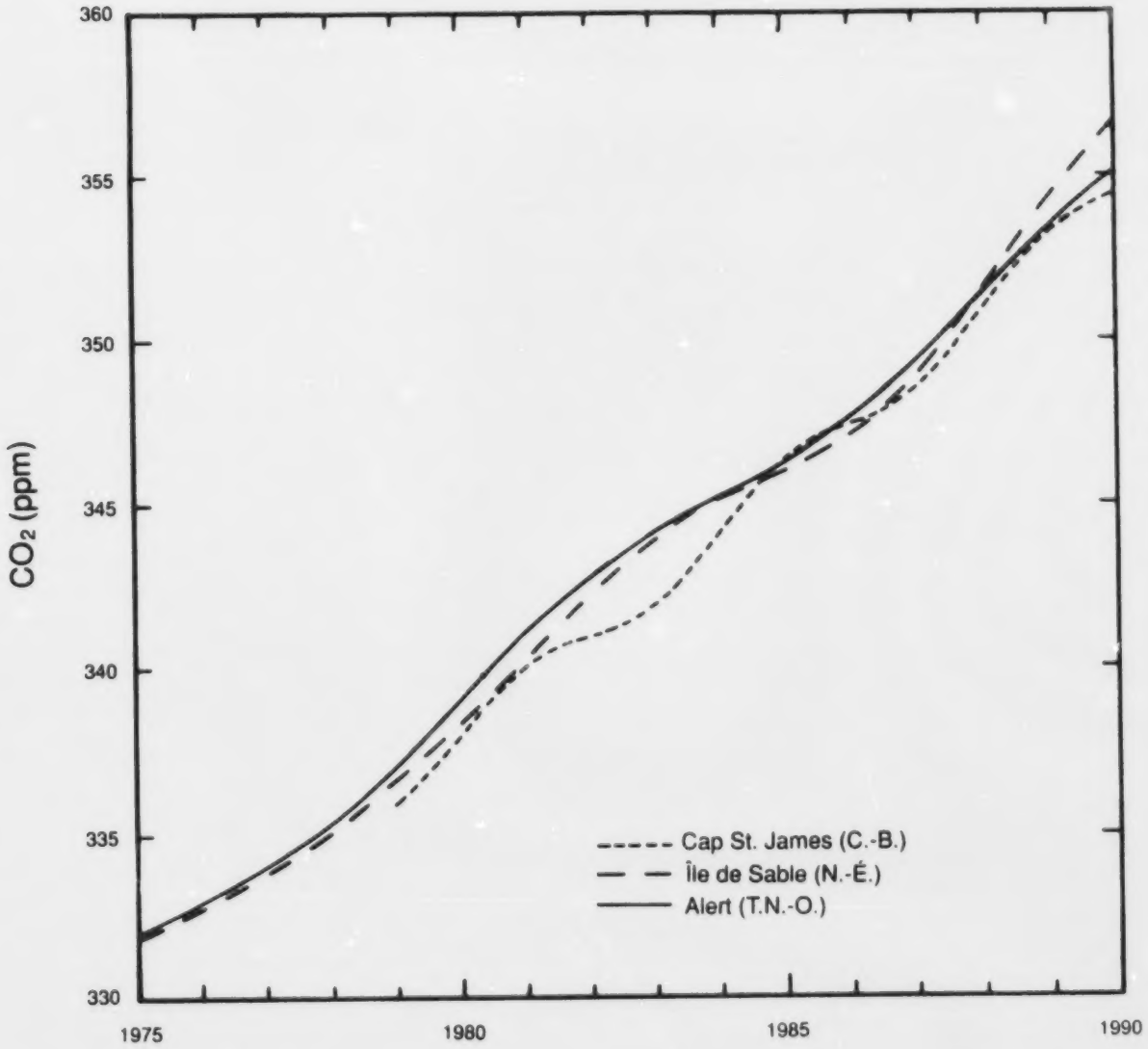
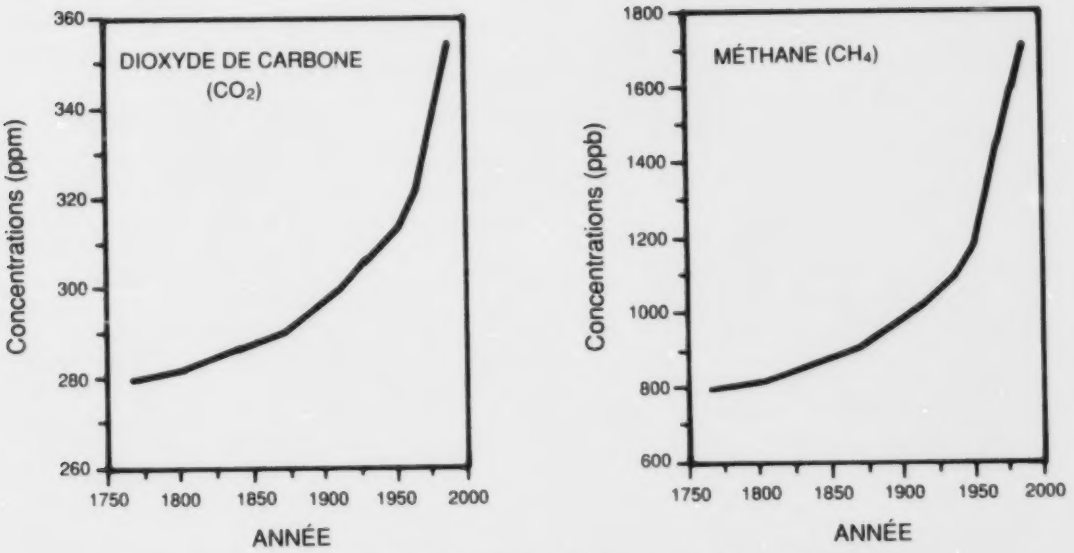
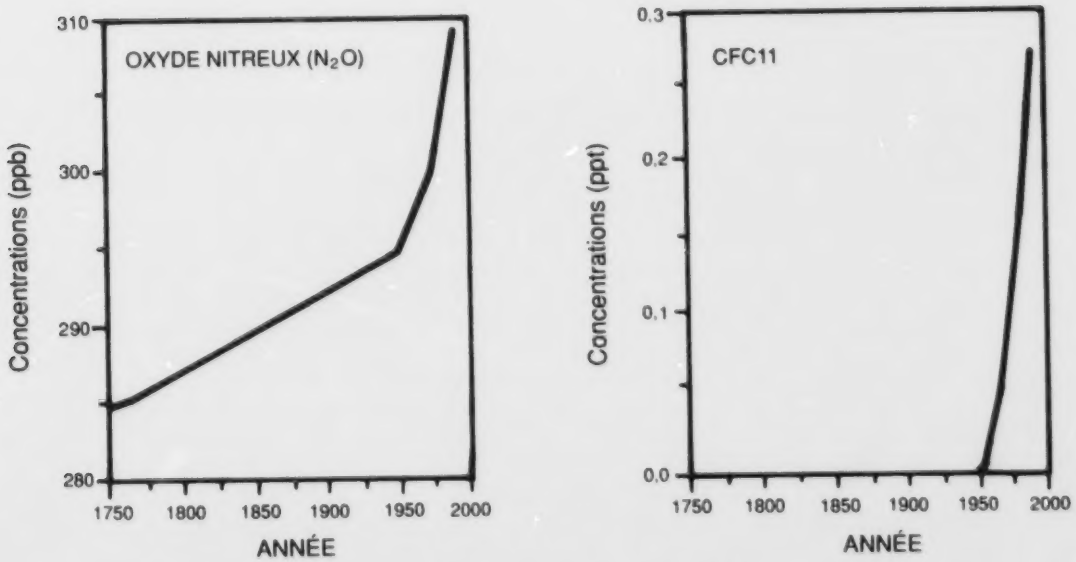


Figure 1

Augmentation des concentrations de CO_2(ppm, parties par million) de 1975 à 1990 à trois endroits du Canada.



Les concentrations de dioxyde de carbone et de méthane, qui sont demeurées relativement constantes jusqu'au XVIII^{e} siècle, ont augmenté soudainement depuis, à cause de l'activité humaine.



Les concentrations d'oxyde nitreux ont augmenté depuis le milieu du XVIII^{e} siècle, en particulier au cours des dernières décennies. Quant aux CFC, il n'en existait pas dans l'atmosphère avant les années 1930.

Concentrations mondiales moyennes de gaz à effet de serre

Source : Rapport du Groupe de travail I de l'IPCC

Figure 2

nordiques; mais, dans la plupart des secteurs économiques, le Canada vient presque au dernier rang des pays de l'OCDE en ce qui touche le rendement énergétique. À l'échelle mondiale, c'est au secteur de l'énergie qu'on attribue environ la moitié des émissions de gaz à effet de serre; ceux de l'agriculture et de la foresterie produisent un quart des émissions, alors que l'activité industrielle n'incluant ni la production ni la consommation d'énergie produit le dernier quart. Si l'on ne prend pas d'autres mesures que celles prévues en vertu du Protocole de Montréal, le secteur de l'énergie contribuera pour environ les deux tiers de l'augmentation des quantités de gaz à effet de serre entre 2000 et 2025.

3.0 LE CONSENSUS DES SCIENTIFIQUES SUR LA QUESTION

L'effet de serre est un phénomène réel, bien connu, qui s'appuie sur des principes scientifiques établis.

Les gaz à effet de serre d'origine naturelle ont maintenu la température de la Terre à un niveau assez élevé pour qu'on puisse l'habiter. Toutefois, l'augmentation constante de leurs concentrations atmosphériques et l'émission de nouveaux gaz d'origine anthropique comme les CFC, qui ont aussi pour effet d'appauvrir la couche d'ozone stratosphérique, feront augmenter la température moyenne à la surface du globe. À quel rythme le réchauffement se produira-t-il? Nul ne peut l'affirmer avec certitude.

Nous savons que les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre ont varié naturellement sur des dizaines à des centaines de milliers d'années et qu'elles augmentent depuis la révolution industrielle en raison de l'activité humaine (tableau 1). En outre, l'analyse de carottes de glace prélevées à Vostok, dans l'Antarctique, qui a permis de remonter jusqu'à 160 000 ans (fig. 3), montre qu'il existe un étroit parallèle entre l'augmentation de la température terrestre et celle des concentrations atmosphériques de CO_2 et de CH_4. Les changements récents, dus à l'activité humaine, se sont produits sur une période, relativement courte, de cent cinquante ans. Par rapport aux concentrations préindustrielles, il y a 50 ppm (parties par million) de CO_2 de plus et environ deux fois plus de CH_4 dans l'air.

Les concentrations atmosphériques des gaz persistants (CO_2, N_2O et CFC) ne réagissent que lentement aux variations des émissions. Par conséquent, si les émissions actuelles continuent au même rythme, les gaz s'accumuleront sans cesse dans l'atmosphère pendant des décennies, voire des siècles. Plus les émissions continuent d'augmenter au rythme actuel, plus il faudra les réduire si l'on veut stabiliser les concentrations de gaz à un niveau déterminé. Par exemple, en réduisant de 2 % par année les émissions mondiales de CO_2 à compter de 1990, les concentrations atmosphériques de ce gaz se stabiliseront à environ 390 ppm vers 2040. Toutefois, si

TABLEAU 1

LES PRINCIPAUX GAZ À EFFET DE SERRE

GAZ	CO_2	CH_4	CFC-11	CFC-12	N_2O
Concentrations préindustrielles	280 ppmv	0,79 ppmv	0	0	280 ppbv
actuelles	353 ppmv	1,72 ppmv	280 pptv	484 pptv	310 ppbv
Durée de vie dans l'atmosphère (années)	(50 à 200)	10	65	130	150
Contribution à l'effet radiatif total 1980-1990 (en %)	55	15	24 (tous les CFC)		6

Concentrations préindustrielles et actuelles des principaux gaz à effet de serre, leur durée de vie et leur contribution aux effets radiatifs totaux. Source : Groupe de travail I de l'IPCC.

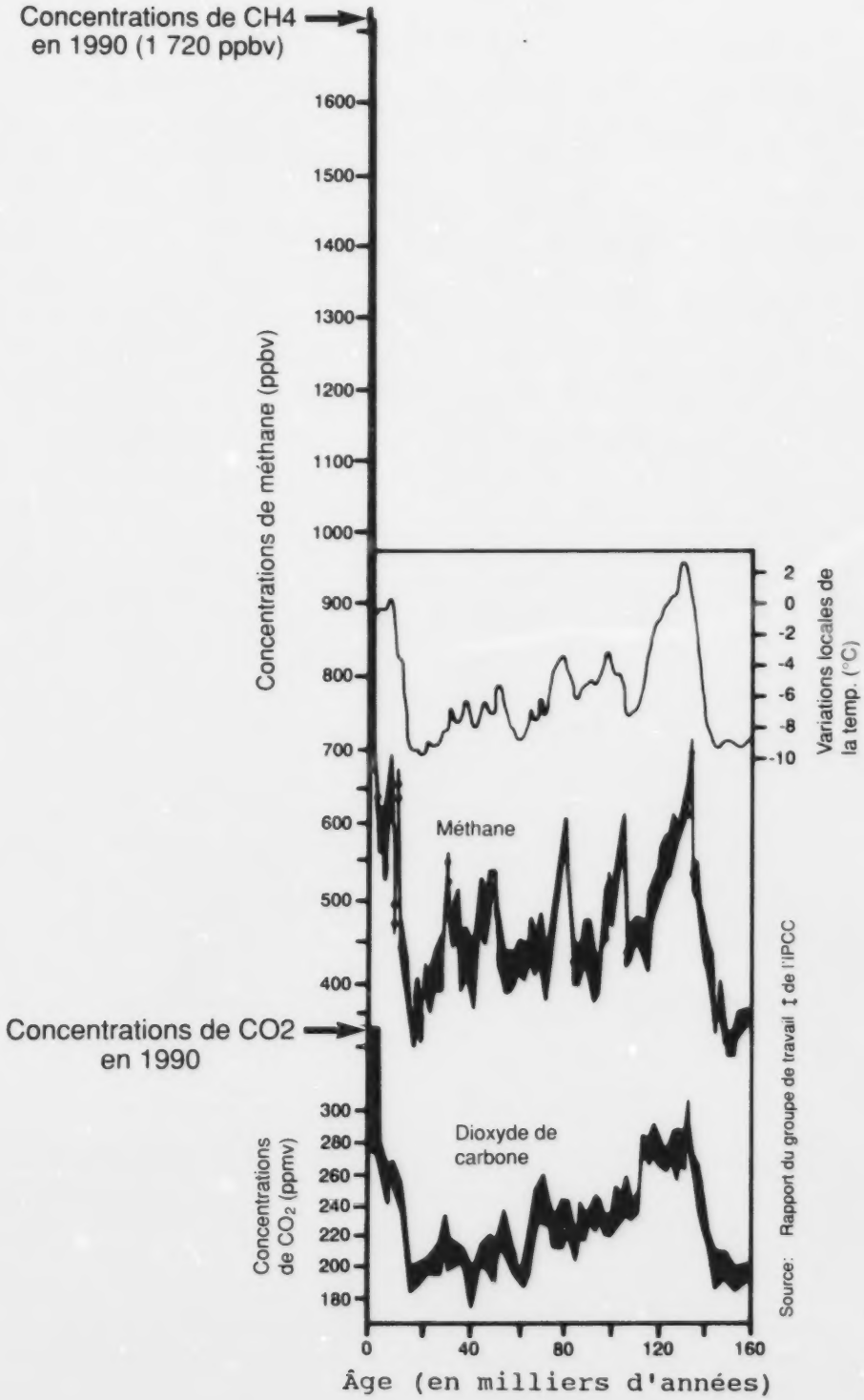

Concentrations de CH4 en 1990 (1 720 ppbv)
Concentrations de méthane (ppbv)
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
Concentrations de CO2 en 1990
Concentrations de CO_2 (ppmv)
300
280
260
240
220
200
180
Méthane
Dioxyde de carbone
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
Variations locales de la temp. (°C)
Source: Rapport du groupe de travail I de l'IPCC
0
40
80
120
160
Âge (en milliers d'années)

Figure 3

cette réduction annuelle de 2 % est différée jusqu'en 2010, ces concentrations ne se stabiliseront qu'en 2080, au niveau bien supérieur de 460 ppm.

Il est relativement facile de prédire l'effet direct du forçage radiatif causé par l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre. Toutefois, à mesure que le climat se réchauffera, divers processus viendront l'amplifier ou l'atténuer. Les processus influant sur les systèmes biologiques semblent produire seulement des rétroactions positives et pourraient causer des surprises en s'ajoutant aux seuls effets radiatifs. Les principales rétroactions non biologiques qu'on a déterminées, mais pas encore avec précision, sont dues aux variations de la vapeur d'eau atmosphérique, de l'étendue de la glace de mer, de la nébulosité, ainsi qu'à l'action des océans. La durée de vie des gaz à effet de serre est déterminée par leurs sources et leurs puits dans les océans, l'atmosphère et la biosphère. Comme on ne connaît qu'imparfaitement les processus biosphériques qui agissent sur ces sources et ces puits, et leur évolution possible dans l'avenir, il est difficile de prédire avec exactitude les futures concentrations des gaz à effet de serre.

Les meilleurs outils de prévision, qui tiennent compte de tous les processus (dans la mesure où l'état des connaissances le permet), sont des modèles numériques tridimensionnels complexes du système climatique, c'est-à-dire de l'ensemble atmosphère-océans-glace-masses terrestres. On les appelle modèles de la circulation générale (MCG).

Le Canada a élaboré l'un des six MCG de classe mondiale qui existent actuellement et qui, aussi, est l'un des trois modèles de deuxième génération. Le tableau 2 présente quelques-unes des caractéristiques des MCG qui ont servi à faire des simulations fondées sur le doublement des concentrations de dioxyde de carbone ($2 \times CO_2$). Les figures 4 et 5 montrent respectivement les projections des températures pour l'été et l'hiver réalisées par le modèle canadien.

Tous les MCG indiquent qu'un changement climatique considérable résulterait du doublement des concentrations de CO_2 (ou de leur équivalent, compte tenu de tous les gaz à effet de serre). En ce qui concerne l'Amérique du Nord, ces modèles prévoient les mêmes changements à grande échelle :

- aux hautes latitudes, accroissement du réchauffement en hiver et augmentation des précipitations en toute saison;

- dans le centre du continent, réchauffement supérieur à la moyenne mondiale et réduction générale de la teneur en eau des sols.

TABLEAU 2

Quelques différences entre modèles

2 X CO2 avec un océan à couche

Modèles	Résolution	Cycle diurne	Paramètre transport océanique	Transport glace souterraine	Réaction propriétés optiques	Données d'application spéciales
Première génération						
GFDL (1988)	L9, R15	Non	Non	Non	Non	Non
GISS (1984)	L9, 8 x 10	Oui	Oui	Non	Non	Non
NCAR (1984)	L9, R15	Non	Non	Non	Non	Non
UKMO (1987)	L11, 5 x 7,5	Oui	Oui	Non	Non	Non
OSU (1988)	L2, 4 x 5	Non	Non	Non	Non	Non
Deuxième génération						
CCC (1989)	L10, T32 (3,75 x 3,75)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
UKMO (1989)	2,5 x 2,5	Oui	Oui	Non	Non	Non
GFDL (1989)	L9, R30	Non	Oui	Non	Non	Non

GFDL Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GISS Goddard Institute for Space Sciences
NCAR National Center for Atmospheric Research
UKMO United Kingdom Meteorological Office
OSU Oregon State University
CCC Centre climatologique canadien

Caractéristiques des MCG, ayant une couche océanique mélangée, utilisés dans les simulations d'un doublement du CO_2.

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE
SUR LE DOUBLEMENT
DU CO_2 DU CENTRE
CLIMATOLOGIQUE CANADIEN
ÉTÉ (JUIN, JUILLET, AOÛT)
(DEGRÉS CELCIUS)
0
0
2
4
6
8
8
6
4
2
4
4
4
4
4
4
4
4
Fairbanks
Whitehorse
Juneau
Yellowknife
Churchill
Goose
Gander
Edmonton
Vancouver
Regina
Winnipeg
Montréal
Moncton
Halifax
Toronto
New York
Chicago
Denver
St. Louis
Los Angeles

Figure 4

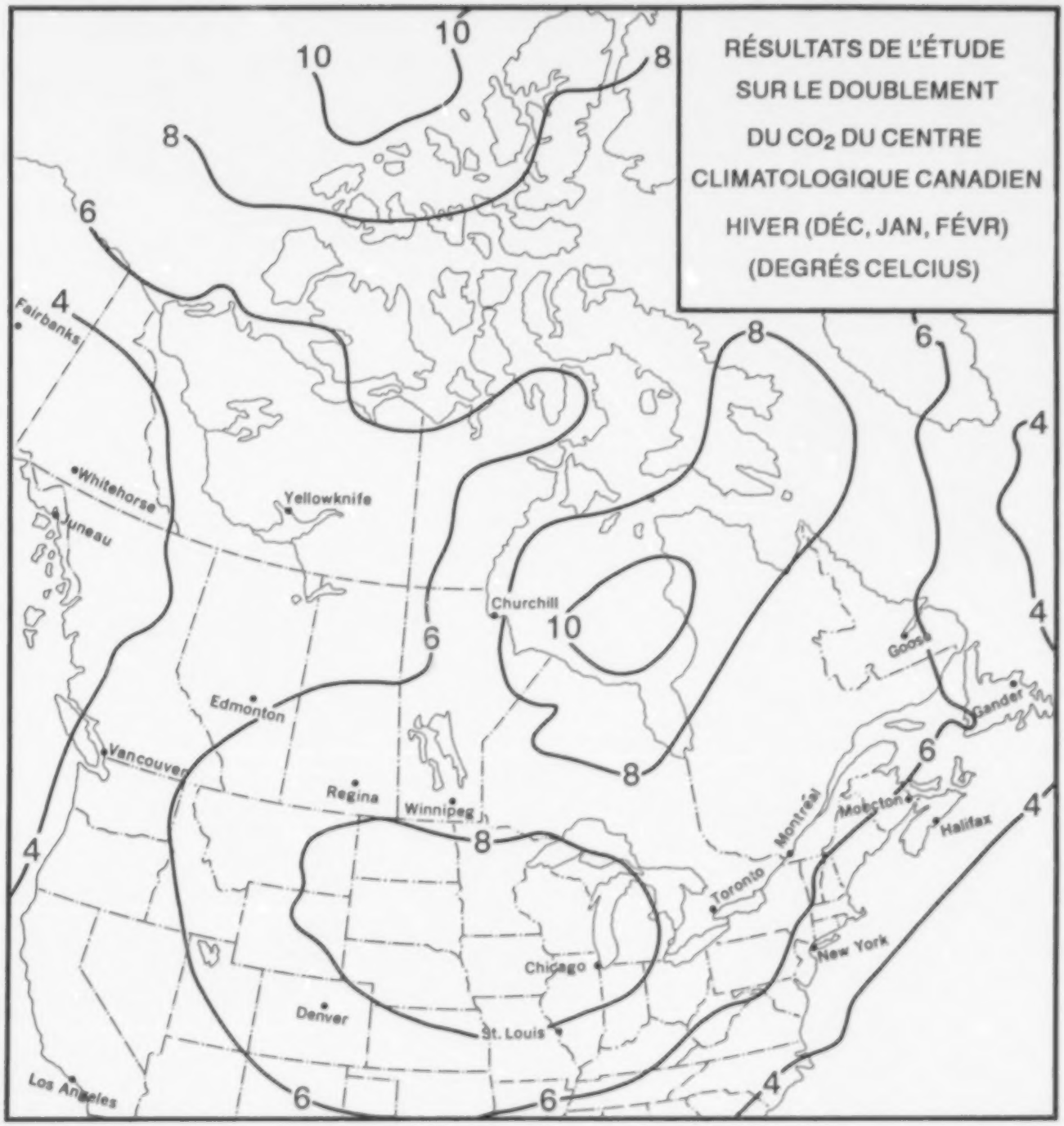

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE
SUR LE DOUBLEMENT
DU CO_2 DU CENTRE
CLIMATOLOGIQUE CANADIEN
HIVER (DÉC, JAN, FÉVR)
(DEGRÉS CELCIUS)
10
10
8
8
6
4
Fairbanks
Whitehorse
Yellowknife
Juneau
Churchill
Edmonton
Vancouver
Regina
Winnipeg
Goose
Gander
Montréal
Moncton
Halifax
Toronto
New York
Chicago
Denver
St. Louis
Los Angeles

Figure 5

Bien que tous les modèles aient simulé à peu près les mêmes changements à grande échelle, les simulations varient à l'échelle subcontinentale; il faut donc considérer avec grande prudence les prévisions touchant les régions. Sans compter que le réchauffement pourrait ne pas être linéaire mais connaître des soubresauts. Il ne faut pas oublier non plus que la variabilité naturelle du climat exercera toujours son influence.

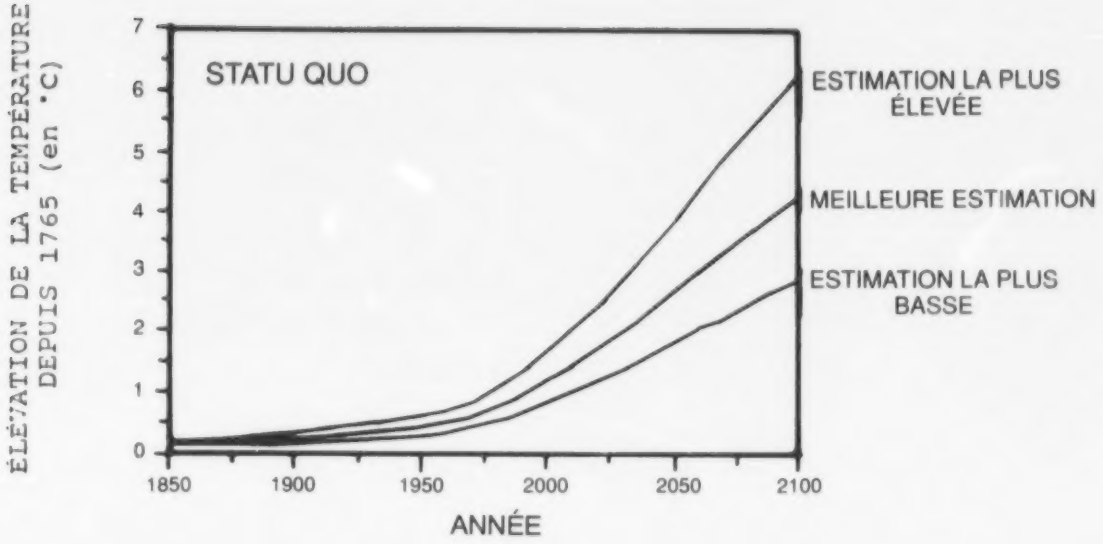
Soulignons également que les éléments ci-dessous sont encore insuffisamment connus :

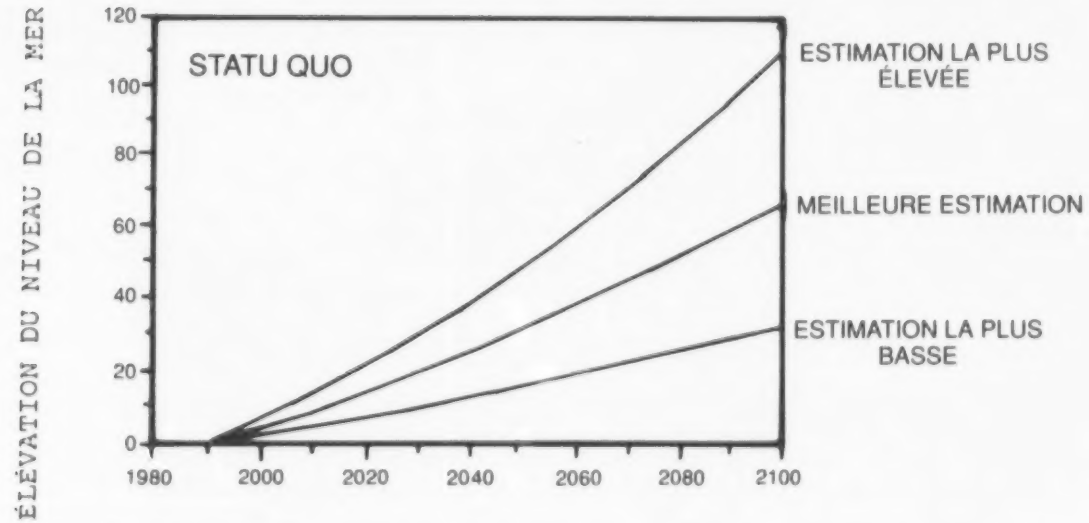
- les sources et les puits de gaz à effet de serre;
- les nuages, qui influent grandement sur l'ampleur du changement climatique;
- les océans, qui influent sur la répartition temporelle et géographique, ainsi que sur le rythme de ce changement;
- les inlandsis polaires, qui influent sur la prévision de l'élévation du niveau de la mer;
- les composantes du cycle de l'eau.

En se basant sur les résultats actuels des MCG et sur le scénario du statu quo, le Groupe de travail I de l'IPCC prévoit, pour le prochain siècle, une augmentation d'environ 0,3 °C (fourchette de 0,2 à 0,5 °C) par décennie de la température mondiale moyenne et la hausse du niveau moyen de la mer à l'échelle planétaire à raison de quelque 6 cm (fourchette de 3 à 10 cm) par décennie (fig. 6). De plus, il est fort possible que les masses terrestres se réchaufferont plus rapidement que les océans et qu'aux hautes latitudes (dans l'Arctique canadien, p. ex.), le réchauffement sera supérieur à la moyenne mondiale en hiver.

Le rythme du changement des températures prévu sera plus grand que tout ce qui s'est jamais produit naturellement sur la Terre depuis 10 000 ans. Quant à la hausse du niveau de la mer, elle se produira de trois à six fois plus rapidement qu'on ne l'a observé depuis une centaine d'années.

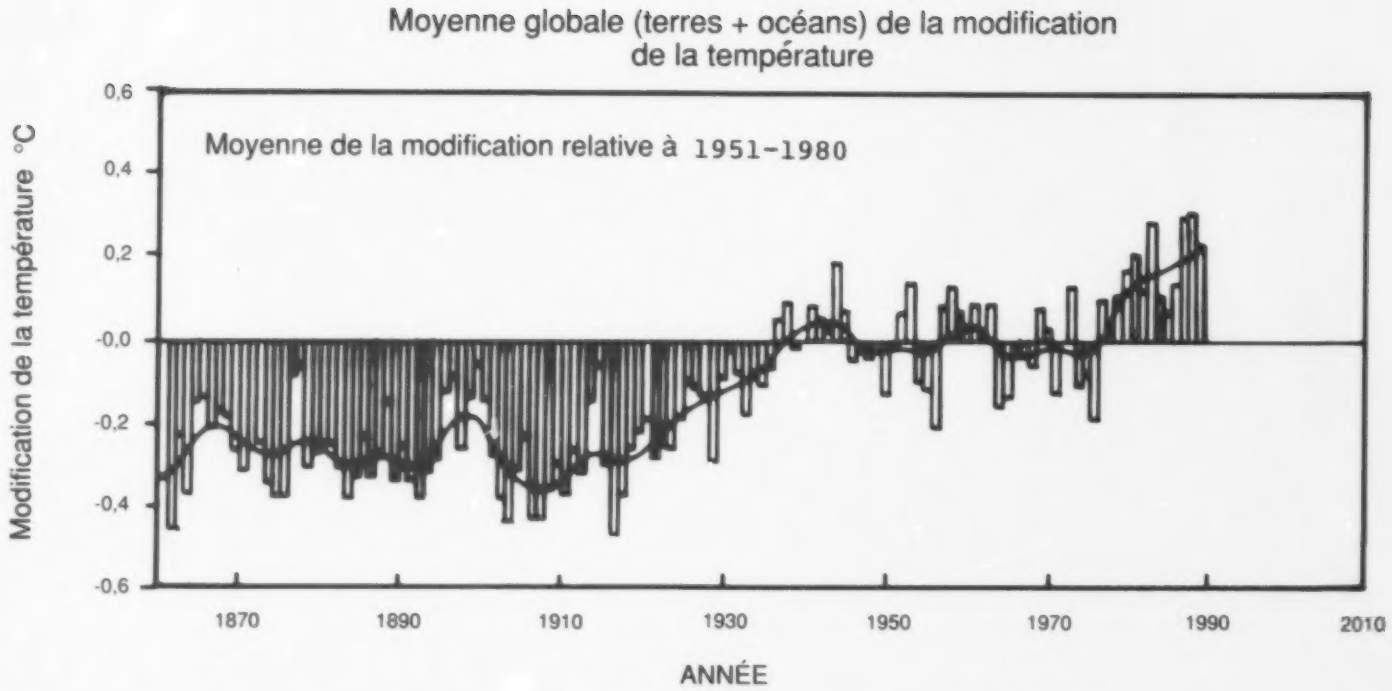
Un véritable réchauffement de la planète, de 0,3 à 0,6 °C, a déjà eu lieu au cours du dernier siècle (fig. 7). La thèse du réchauffement est fortement renforcée par le fait que, depuis la fin du XIX^{e} siècle, la plupart des glaciers alpins ont reculé et que le niveau de la mer a monté en moyenne de 1 à 2 mm par année en moyenne pendant la même période. L'expansion thermique des océans et une fonte accrue des glaciers alpins semblent être liées au réchauffement planétaire et indiquer que la poursuite du phénomène accélérera la montée du niveau de la mer par rapport à celle observée au cours des derniers siècles (fig. 6).





Source : Rapport du Groupe de travail I de l'IPCC

Figure 6



Source : Rapport du Groupe de travail I de l'IPCC

Figure 7

4.0 LES RÉPERCUSSIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES : LES EFFETS SUR LA PLANÈTE

Bien que l'endroit, la nature et le moment précis d'incidences particulières soient encore entachés de beaucoup d'incertitude scientifique, les scénarios du réchauffement climatique montrent comme inéluctable, à moins d'importantes mesures de prévention ou d'adaptation, qu'il ne se produise des bouleversements profonds dans les économies et l'environnement de la planète Terre. Qui plus est, même si tous les pays faisaient dès maintenant un vigoureux effort pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, nous sommes déjà sur la voie d'un important réchauffement. L'élévation du niveau de la mer pourra être graduelle, mais les déplacements des zones climatiques peuvent, eux, se produire de manière imprévisible (autrement dit, la surprise est probable).

Le Groupe de travail II de l'IPCC était chargé d'examiner les connaissances actuelles sur les répercussions possibles du réchauffement à l'échelle de la planète. Il convient de noter que ces répercussions sur la planète auront des effets directs et importants sur le Canada, notamment sur sa position de concurrence dans le commerce international (dans le domaine des produits agricoles en particulier) et contribueront à résoudre les problèmes économiques et sociaux des pays en développement. Voici donc un résumé, par secteur, des conclusions du groupe basées sur les résultats des MCG :

- L'agriculture : certaines régions peuvent être sévèrement touchées en particulier par une baisse de la production dans les régions déjà très vulnérables qui sont le moins en mesure de s'adapter. À l'échelle régionale, on pourra constater des effets négatifs découlant des changements dans les conditions météorologiques et dans les ravageurs, associés aux variations du climat, et, aussi, des changements du taux d'ozone troposphérique dus aux polluants, ce qui nécessitera des remaniements de la technologie et de la gestion agricoles. Les schémas actuels du commerce agricole pourraient être modifiés par une baisse de la production céréalière dans des régions où elle est actuellement élevée, comme l'ouest de l'Europe, le sud des États-Unis et certaines régions de l'Amérique du Sud et de l'Australie.

- L'hydrologie et les ressources en eau : même des changements climatiques relativement mineurs peuvent causer d'énormes problèmes de ressources en eau en bien des endroits, surtout dans les régions arides et semi-arides, et dans les régions humides où l'eau est devenue rare par suite de la demande ou de la pollution. Pour certaines zones circonscrites, un réchauffement de 1 à 2°C associé à une réduction de 10 % des précipitations pourrait diminuer le ruissellement annuel de 40 à 70 %.

- Les océans et les littoraux : le réchauffement de la planète accélérera la hausse du niveau de la mer, ce qui modifiera la circulation océanique et les écosystèmes marins entraînant des conséquences socio-économiques considérables. Les déplacements de la circulation océanique et les changements des zones de remontée nuiront à la capacité de l'océan de fixer le CO_2, ainsi qu'aux habitats des poissons; les déplacements régionaux des zones de pêche auraient aussi des répercussions socio-économiques graves.

- La faune : le changement climatique modifiera l'habitat de la faune et la disponibilité de la nourriture, augmentant ainsi la pression sur les animaux; il peut s'ensuivre une migration des espèces, voire, dans les pires scénarios, l'extinction de certaines d'entre elles. Par exemple, la glace de mer, sur laquelle repose la chaîne alimentaire de l'Arctique et qui fournit une voie migratoire essentielle aux morses, phoques et ours polaires, sera considérablement réduite par le changement climatique.

- Les établissements humains : les plus vulnérables sont ceux qui sont particulièrement exposés aux catastrophes naturelles : inondations des côtes et des rives de cours d'eau, sécheresses graves, glissements de terrain, violentes tempêtes et cyclones tropicaux.

- La santé : la santé des gens pourrait être sérieusement affectée, surtout dans les grandes agglomérations, en raison des changements de la disponibilité de l'eau et de la nourriture, et de problèmes de santé accrus si le stress thermique favorise la propagation des infections. La modification des configurations de précipitation et de température pourrait changer radicalement la distribution des maladies virales et à transmission vectorielle en les déplaçant vers des latitudes plus élevées, menaçant ainsi de vastes bassins de population.

- Les pays en développement : ils seront probablement très vulnérables aux conséquences du réchauffement de la planète. Leur infrastructure leur permet moins d'affronter les phénomènes extrêmes (cyclones tropicaux, sécheresses, etc.). Ils considèrent en outre les pays industrialisés comme la principale source historique du problème et s'attendent que ces derniers prennent les devants en leur fournissant technologies et ressources pour le résoudre. Ils veulent cependant participer pleinement à la recherche et à la prise de décisions. Le Groupe de travail II de l'IPCC recommande que les pays en développement aient la capacité d'évaluer les répercussions du changement climatique et d'intégrer cette information dans leur planification, et que les pays industrialisés participent à la création de capacités locales d'évaluation des incidences du changement climatique dans ces pays.

5.0 LES RÉPERCUSSIONS NATIONALES

Afin d'élaborer des politiques scientifiquement valables sur la question de la variabilité et du changement climatique, le gouvernement canadien a mis sur pied, en 1978, la programme climatologique canadien (PCC). L'un de ses principaux objectifs est le financement des recherches visant à évaluer et à déterminer les éventuelles répercussions sociales et économiques du réchauffement climatique prévu dans un scénario de doublement des concentrations de dioxyde de carbone ou de gaz à effet de serre équivalents. Ces recherches, effectuées pour différentes régions du pays, et d'autres menées à l'échelle de la planète, ont fourni une mine de renseignements.

Depuis 1984, une soixantaine d'études des incidences possibles ont été réalisées au pays. Environ la moitié ont été entreprises par l'intermédiaire du PCC et terminées sous contrat donné au Service de l'environnement atmosphérique. Dans la plupart des cas, les chercheurs disposaient des sorties d'un ou de plusieurs des MCG pour des scénarios de doublement du CO_2 et en faisaient les données d'entrée de divers modèles socio-économiques. D'autres scénarios, comme les analogues d'années ou même de décennies anormales isolées, ont aussi été utilisés.

On trouvera ci-dessous le résumé, par secteur, des conclusions des études canadiennes. Ce sont là des exemples plus précis des répercussions mondiales ou des situations qui viennent s'ajouter à celles mentionnées précédemment :

5.1 Les ressources terrestres et aquatiques

- Les ressources en eau : la plupart des scénarios de réchauffement climatique convergent vers une diminution nette de 25 à 50 % du ruissellement dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, amenant une baisse du niveau des lacs et de la production d'hydroélectricité; plus au nord, les lignes de partage des eaux montreront probablement un écoulement et des crues plus prononcés pendant la saison de la fonte des neiges.

- L'agriculture : il existe une possibilité de migration des cultures vers le nord, mais elle est généralement limitée par les capacités du sol; les ravageurs et les maladies des plantes pourraient augmenter, ainsi que leur fréquence; la gravité des sécheresses agricoles pourrait être plus importante, ce qui entraînerait une plus forte demande en services d'irrigation, éventuellement en conflit avec les autres usagers de l'eau (selon les incidences hydrologiques); les pertes économiques des années de sécheresse pourraient dépasser tout ce qu'on a déjà connu.

- La foresterie : les écosystèmes forestiers pourraient s'étendre vers le nord avec, dans certains cas, une diminution du territoire de certaines espèces; il y aurait probablement plus de dommages imputables aux ravageurs et aux incendies; les activités forestières hivernales seraient sans doute touchées par la brièveté et l'humidité des hivers dans les régions septentrionales.

- Les pêches en eau douce : plus de 30 nouvelles espèces pourraient envahir les Grands Lacs par le sud, alors que des espèces résidentes disparaîtraient; la fonte du pergélisol perturberait l'habitat des poissons dans le nord du Canada; dans les régions côtières, certaines espèces de poisson pourraient quitter leurs zones actuelles; le temps plus doux pourrait être favorable à la croissance de l'aquiculture; la température plus élevée de l'eau permettrait une production accrue de phytoplanctons et augmenterait la quantité d'eaux habitables en hiver; la productivité estivale pourrait baisser en raison de la trop haute température de l'eau et de l'appauvrissement en oxygène; les populations de poissons pourraient être touchées par la modification des milieux humides côtiers qu'entraînerait un changement du niveau de l'eau (par exemple, la baisse prévue du niveau des Grands Lacs).

- L'énergie à l'échelle du continent : les pipelines et autres installations aux latitudes élevées deviendraient d'un entretien plus difficile en raison de la fonte du pergélisol; la demande saisonnière en chauffage et en climatisation serait probablement modifiée, ce qui toucherait le transport et la demande d'énergie électrique à l'intérieur et à l'extérieur du pays; la production d'hydroélectricité pourrait considérablement baisser dans le réseau des Grands Lacs, puisque les niveaux d'eau seraient plus bas, mais on ne s'entend pas en ce qui concerne les autres grands bassins.

- Les transports : la saison de navigation en eau libre de glace serait plus longue, y compris dans l'Arctique et sur les Grands Lacs, mais pourrait entraîner plus de dépenses sur ces derniers en raison des niveaux d'eau inférieurs anticipés; la période des routes de glace et de neige en hiver aux hautes latitudes serait plus courte.

- Les loisirs, le tourisme : l'incidence serait généralement positive pour les activités estivales mais négative pour celles d'hiver dans le Sud (par exemple, le ski dans le sud de l'Ontario); on ne s'entend pas sur les répercussions dans les Rocheuses en raison de l'incertitude sur les précipitations.

- Les catastrophes naturelles : à l'heure actuelle, on ignore encore comment la fréquence des phénomènes extrêmes sera modifiée, mais on s'attend à un certain nombre de changements;

même des changements relativement mineurs des valeurs moyennes de la pluviosité et de la température peuvent avoir un effet marqué sur la probabilité, l'intensité et la durée des sécheresses et des inondations dans les régions où ces phénomènes se produisent souvent; une saison d'eau libre plus longue aux latitudes moyennes et élevées (lac Érié, Grand lac des Esclaves, etc.) pourrait faire augmenter le nombre de tempêtes locales violentes et de soulèvements de tempête sur les rives; la dégradation du pergélisol, une température superficielle de l'eau plus élevée et une augmentation des pluies hivernales peuvent accélérer l'érosion et accroître le nombre de glissements de terrain aux latitudes élevées, sur les rives et dans les régions montagneuses; un temps plus chaud au printemps et en été pourrait occasionner une plus grande fréquence des orages violents, des tornades et des incendies de forêt causés par la foudre.

5.2 Les côtes et les mers

Le Canada est un pays côtier bordé par trois océans et possédant plus de 244 000 km de littoral, donc plus que n'importe quel autre pays. On y trouve un bon nombre de grandes villes et de voies de communication, ainsi que des centaines de villages de pêche, dont plus de mille ports de petites embarcations, et de nombreuses industries de la pêche. Maintes communautés autochtones vivent également près des côtes, à proximité des ressources marines naturelles qui, depuis toujours, leur permettent de subsister. Diverses industries, comme les usines de pâtes et papiers, le cabotage, les terminaux portuaires à conteneurs et les raffineries de pétrole, sont aussi situées sur la côte pour profiter du transport maritime. Le réchauffement de l'océan de la planète, par expansion thermique de la colonne d'eau, pourrait faire monter le niveau de la mer, situation qui serait accentuée par la fonte de certains des glaciers présentement sur terre. Une hausse d'un mètre du niveau de la mer, par exemple, augmenterait sensiblement le risque d'inondation des zones côtières basses par les fortes marées, des soulèvements de tempête, du ruissellement des cours d'eau et du déferlement, ce qui entraînerait l'érosion des côtes, des dommages aux structures côtières et des modifications à l'habitat de la faune et du poisson. Comme une grande partie de la côte est rocheuse et plutôt abrupte, les conséquences éventuelles ne devraient cependant pas être aussi catastrophiques que dans les pays où les basses côtes sont beaucoup plus vulnérables.

Les évaluations actuelles du rythme d'élévation varient de 30 cm à 1,1 m au cours du prochain siècle, bien que, en de nombreux endroits, les déplacements verticaux de la croûte terrestre dus aux mouvements tectoniques, au relèvement isostatique postglaciaire ou au prélèvement d'eau souterraine puissent être aussi importants, voire plus, que les changements globaux du niveau moyen de la mer. Par exemple, le relèvement de la péninsule de la Gaspésie atteint 40 cm par siècle, alors que Terre-Neuve, 400 km plus à l'est,

s'enfonce d'environ 50 cm par siècle. Un relèvement du sol correspond à une baisse relative du niveau de la mer et la subsidence à une hausse. Il faut intégrer tous ces facteurs pour connaître les changements nets du niveau de la mer, qui varieront donc beaucoup d'une région à l'autre.

Parmi les principales conséquences possibles, en plus de celles mentionnées à la section 4.0, il faut inclure les suivantes :

- Les changements dans l'océan : une diminution de la superficie et de l'épaisseur de la glace de mer influera sur la sécurité et le transport maritimes, les besoins de brise-glace et les configurations météorologiques; sur les dates d'englacement et de déglacement; sur la production d'icebergs qui sera plus élevée; à une grande échelle sur la circulation océanique, les configurations des vagues, etc., en raison du nouveau régime des vents; sur la température, la salinité et les courants des eaux côtières en vertu de l'intensification du cycle hydrologique.

- L'infrastructure côtière : sur la côte, certaines communautés résidentielles et propriétés commerciales seraient menacées [p. ex. à Vancouver, à Charlottetown, à Saint John (N.-B.)]; les inondations intérieures augmenteraient; les rivages naturels seraient érodés; les égouts pluviaux et les approvisionnements en eau fraîche seraient perturbés.

- Les pêches : des changements se produiraient dans la répartition, l'abondance, la diversité et les voies migratrices des espèces de poissons; par exemple, la limite méridionale naturelle des salmonidés est déterminée par des facteurs climatiques, de même que la diversité des espèces pour les pêches de la côte est. Un réchauffement des eaux côtières influerait sur la distribution géographique d'espèces comme le calmar et le maquereau sur la côte de l'Atlantique et le merlu et le thon sur la côte du Pacifique, d'où peut-être une abondance plus grande et des pêches nouvelles ou plus étendues. Certaines populations nordiques de salmonidés pourraient avoir une production plus élevée, car les conditions seraient plus favorables. La possibilité de prévoir les incidences sur les espèces marines est cependant limitée par l'insuffisance de notre base de connaissances. Il faudra effectuer d'autres recherches.

- L'énergie off-shore : on peut prévoir une modification des coûts d'exploration dans l'océan Arctique puisque la couverture de glace de mer serait moindre, bien qu'une saison d'eau libre plus longue puisse entraîner des tempêtes plus violentes accompagnées de hautes vagues; il pourrait y avoir davantage d'icebergs dans l'est de l'Arctique et du Groenland, ce qui influerait sur les activités d'exploitation au large de

la côte atlantique; avec le réchauffement de l'océan, on pourrait constater une plus grande fréquence des tempêtes tropicales atteignant le plateau de la Nouvelle-Écosse et les autres zones de forage du Canada atlantique.

5.3 Les répercussions régionales

Plus l'échelle géographique est petite, mois les prévisions d'impact sont fiables, surtout à l'échelle régionale ou locale. On peut néanmoins avancer quelques-unes des répercussions régionales éventuelles pour le Canada :

5.3.1 La région de l'Atlantique (Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Île-du-Prince-Édouard, Terre-Neuve)

- Des pertes de plusieurs milliards de dollars pourraient être enregistrées en raison des effets négatifs de la hausse du niveau de la mer qui couvrirait les infrastructures côtières.

- La saison de la pêche côtière serait plus longue, et on pourrait s'attendre à une croissance marquée de l'aquiculture.

- La formation moindre de glace de mer devrait amener une réduction des coûts de déglacement et peut-être de la cessation des activités d'exploration pétrolière et gazière au large des côtes; en revanche, les coûts de recherche et de sauvetage pourraient grimper en raison de l'augmentation du trafic maritime commercial, récréatif et relié à la pêche.

- On peut s'attendre à d'importants changements dans l'agriculture; certaines variétés et méthodes de culture seraient moins appropriées (p. ex. l'industrie de la myrtille pourrait bénéficier d'un plus grand nombre de jours sans gel, alors que celle de la pomme de terre en souffrirait).

- Le ruissellement devrait augmenter et, par voie de conséquence, le potentiel hydroélectrique du Labrador; en revanche, dans les Maritimes, ce dernier déclinerait.

5.3.2 La région du centre (Québec et Ontario)

- Le tonnage transporté sur les Grands Lacs pourrait augmenter avec la prolongation de la saison de navigation; les coûts en seraient cependant plus élevés en raison de la baisse du niveau des eaux.

- Certaines espèces résidentes de poisson pourraient disparaître des Grands Lacs; les études montrent que plus de 30 nouvelles espèces pourraient par contre les envahir.

- Les besoins en chauffage résidentiel diminueraient pendant l'hiver, contrebalancés par une hausse de la climatisation en été; la production d'hydroélectricité déclinerait dans le Sud, mais augmenterait dans le Nord.

- La saison de croissance pourrait se prolonger d'environ cinquante jours dans le Nord et de soixante dans le Sud; le stress hydrique dans le Sud ferait baisser le rendement des principales cultures actuelles; le grain, le blé, le maïs et le soya deviendraient rentables dans les régions nordiques, du moins là où le sol s'y prête.

- Les principales zones marécageuses s'assécheraient, ce qui réduirait le nombre des habitats fauniques.

- On pourrait constater un déplacement vers le nord des zones forestières, une augmentation des forêts de bois dur et une diminution de la forêt boréale, une augmentation du rythme de croissance de la forêt, un accroissement des dommages dus aux maladies, aux insectes et aux incendies, une réduction des activités d'exploitation forestière en hiver.

- Le nombre des jours de ski pourrait baisser de 40 à 70 % dans le sud du Québec, et l'industrie ontarienne, dans le sud de la région de la baie Georgienne, pourrait même disparaître.

5.3.3 La région des Prairies (Manitoba, Saskatchewan Alberta)

- Il y a dans ces trois provinces suffisamment de place pour permettre une migration de l'agriculture vers le nord sous un climat modifié; la majorité des terres disponibles pourraient fournir des fourrages, qui sont rentables sur des terres arides avec irrigation; la région des rivières La Paix et Athabaska pourrait connaître une expansion agricole, grâce à d'autres cultures.

- Les conditions de teneur en eau du sol empireraient sans doute dans le bassin de la rivière Saskatchewan, mais on ne s'entend pas sur les changements que pourrait subir l'écoulement des principaux tributaires du bassin, puisqu'une incertitude persiste quant aux modifications futures du couvert nival des Rocheuses, principale source du ruissellement; il semble probable que les sécheresses agricoles seraient plus fréquentes et plus graves; il

faudra procéder à une évaluation plus poussée de l'intensité et de la durée des précipitations avant de se prononcer sur les ressources en eau.

- La Saskatchewan pourrait s'attendre à connaître, à l'occasion, des années d'extrême sécheresse (comme 1961), des pertes pour l'économie agricole d'environ 2 milliards de dollars et de 8 000 années-personnes, selon une étude.

- La capacité de charge des prairies herbeuses baissera, de même pour les besoins en fourrages, en raison des températures plus élevées; les maladies affecteront davantage le bétail et les ravageurs détruiront encore plus de cultures.

- Même si l'on prévoit des pertes de rendement pour certaines cultures dans certaines régions, le secteur, dans son ensemble, pourrait compenser grâce à des cultures plus résistantes à la sécheresse et aux maladies, ou à la modification des méthodes de culture et d'utilisation des terres ou à la diversification des cultures dans une région donnée.

5.3.4 La région du Pacifique (Colombie-Britannique et Yukon)

- On devra peut-être prendre des mesures de protection pour les basses régions côtières qui, sinon, seraient submergées par la hausse du niveau de la mer.

- Pendant l'hiver, les précipitations seraient probablement plus abondantes surtout sur la côte, ce qui pourrait entraîner des inondations locales et des glissements de terrain plus fréquents; les changements se feraient moins sentir en été et, à l'intérieur, les précipitations seraient moindres.

- Le saumon du Pacifique et d'autres poissons qui remontent les rivières pourraient être touchés par des températures de l'eau plus chaudes, donc moins favorables, ce qui pourrait occasionner une grande mortalité avant la fraye.

- La vulnérabilité des espèces pélagiques au changement climatique varie selon chacune des espèces; un réchauffement des eaux du Pacifique ferait accroître les stocks d'espèces migrant du Sud (p. ex. le thon, le merlu et le calmar).

- Sur les forêts de la côte ouest, les effets les plus marqués seraient probablement l'augmentation des incendies, des ravageurs et des maladies.

5.3.5 Le nord du Canada

- Une trajectoire plus nordique des perturbations et une plus grande étendue d'eau libre amèneront une hausse des précipitations dans l'Arctique, surtout en automne et en hiver; la saison nivale sera plus courte, mais les accumulations plus élevées, avec pour conséquence des crues de printemps plus fortes dans les rivières arctiques et subarctiques.

- La saison des glaces, beaucoup plus minces, sera plus courte; il en découlera des périodes plus brèves pour les routes d'hiver (sur glace) et plus longues pour le transport maritime et la circulation des barges en eau libre.

- La dégradation du pergélisol et l'épaississement de la couche active entraîneront une plus grande instabilité du terrain dans les zones discontinues; les limites du pergélisol reculeront lentement vers le nord au fil des siècles, d'où des répercussions sur les bâtiments et les pipelines.

- La modification des habitats et de la migration de la faune influerait sur la subsistance et le mode de vie des autochtones.

- L'érosion du littoral et la dégradation des rivages s'accéléreront en raison de l'élévation du niveau de la mer et d'une réduction du pergélisol côtier.

5.4 L'orientation future des études d'impact

La plupart des études portant sur les incidences possibles reposent sur des scénarios qui supposent généralement le climat prévu dans le cas d'un doublement du CO_2 atmosphérique (ou l'équivalent). Pour isoler les effets du changement climatique, on a supposé que les autres facteurs qui influent sur l'activité sociale et économique (démographie, technologie, etc.) ne changeront pas. En raison de l'échelle grossière des sorties des MCG et de l'information limitée qu'elles donnent sur les propriétés du climat autres que la température, il a fallu élaborer d'autres hypothèses audacieuses lors des études d'impact. De plus, on n'a pas totalement couvert la question de l'adaptation, tant au changement des conditions moyennes qu'à la variabilité connue du climat. Malgré ces restrictions, la recherche a permis d'établir une gamme des répercussions éventuelles du changement climatique.

Les recherches futures devraient inclure des études régionales multisectorielles intégrées, des analyses de sensibilité visant à cerner les vulnérabilités et des études des phénomènes extrêmes. Ces besoins sont exposés plus en détail à la section ci-dessous.

6.0 RÉDUIRE LA MARGE D'INCERTITUDE : LES BESOINS EN ANALYSE, EN RECHERCHE ET EN DONNÉES

Les Canadiens, par l'entremise de leurs gouvernements, font face à un dilemme de politique quant à leurs réactions au problème des gaz à effet de serre et du changement climatique. Il faudra, malgré le manque de connaissances scientifiques exhaustives, prendre des décisions sur les mesures de restriction et les stratégies d'adaptation. Ces décisions auront alors des répercussions directes sur le développement économique et industriel, sur la salubrité de l'environnement, sur la sécurité et sur le développement durable du pays.

Tant envers lui-même qu'à l'égard de la communauté mondiale, le Canada assume cinq grandes responsabilités en cherchant à améliorer les connaissances et capacités prévisionnelles. Pour contribuer à réduire les incertitudes mentionnées à la section 3.0, il doit s'engager plus vigoureusement :

1) à trouver des politiques sur les stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre et sur les adaptations ou réactions au changement climatique;

2) à intensifier l'intégration des études régionales portant sur les répercussions du changement climatique;

3) à recueillir, à archiver et à analyser les données sur son propre territoire;

4) à s'efforcer de modéliser le système climatique grâce à un superordinateur voué à cette tâche et à un personnel plus nombreux;

5) à participer davantage aux travaux de recherche mondiaux, afin de mieux comprendre et de quantifier les processus qui régissent le système climatique, en particulier en ce qui concerne le Canada.

Il faut de tout urgence renforcer les études axées sur les politiques. Il ne s'est fait jusqu'ici, au pays, que peu de travail sur les études de politiques visant à vérifier, avec des modèles économétriques et autres, les diverses stratégies de limitation des émissions de gaz à effet de serre et à adapter les systèmes économétriques aux stratégies de réduction et au réchauffement climatique.

En deuxième lieu, il faut entreprendre les travaux sur les répercussions dans plusieurs nouvelles directions. L'une d'entre elles fait appel à des analyses multisectorielles intégrées pour des régions choisies (comme les bassins du Mackenzie et des Grands Lacs et les Prairies). Ces études régionales poussées permettraient l'intégration des autres facteurs économiques, sociaux et physiques

et devraient envisager des stratégies d'adaptation. On pourrait tirer de ces études de sensibilité une meilleure compréhension des perspectives d'adaptation des activités économiques. Elles ne reposent pas sur un scénario climatique unique, mais permettent de cerner les processus par lesquels les systèmes sociaux et économiques réagissent aux modifications de l'environnement. Il ne faut pas oublier non plus que le Canada sera influencé par le changement du climat non seulement à son échelle, mais aussi à celle de la planète, en raison des modifications du commerce international, des problèmes d'émigration ou de possibles litiges de souveraineté. De plus, on a déjà élargi le champ des travaux sur les incidences en couvrant plus que les moyennes climatiques. La nature essentiellement variable du climat, actuel et à venir, est un facteur dont tiennent compte les études des effets des phénomènes extrêmes et de la variabilité interannuelle (p. ex. fréquence, durée et gravité des sécheresses) sur les économies et les collectivités.

Vient ensuite la nécessité d'améliorer et de tenir à jour une base suffisante de données élémentaires sur la masse terrestre et les eaux territoriales du Canada, tant au moyen des réseaux d'observation classiques qu'à l'aide de données de télédétection par satellite. Outre le fait de recueillir les données, il est urgent de permettre l'accès à des bases de données numériques grâce à des catalogues et répertoires normalisés. Un troisième élément de ce programme exhaustif de données fait appel à la reconstitution des climats antérieurs. Il existe déjà un certain nombre d'outils puissants qui trouvent maintenant une application au problème qui se pose actuellement : comment faire la différence entre les variations naturelles du climat et les effets à grande échelle que peut avoir l'activité humaine sur le climat présent et futur. Ce sont : les méthodes de datation paléontologiques, chimiques et radiométriques; le carottage des dépôts dans les lacs, la glace des glaciers et les profondeurs de l'océan; les indicateurs substitutifs de la température, comme l'oxygène 16/18 et les rapports eau/deutérium; les restes fossilisés et sous-fossilisés de plantes et d'animaux; les mesures de l'étendue et du rythme des changements physiques du paysage. Ces outils font tous partie d'une base de connaissances mondiale en expansion. Les données paléoclimatiques prennent de plus en plus d'importance dans l'évaluation et l'étalonnage des modèles climatiques mathématiques.

L'observation de la Terre depuis l'espace offre un moyen extraordinaire de mesurer un certain nombre de paramètres de l'atmosphère, de la glace et de l'océan, ainsi que le couvert végétal et l'utilisation des terres sur tous les continents. On y fera donc énormément appel pour suivre de près un bon nombre des répercussions nationales et régionales mentionnées à la section 5.0. Néanmoins, bien que les observations par satellite soient un complément aux observations détaillées des stations en surface, elles ne sauraient en aucun cas les remplacer.

On a constaté une sérieuse dégradation des réseaux d'observation essentiels depuis le milieu des années 1970, dégradation imputable en grande partie aux réductions de ressources financières et humaines imposées par les gouvernements du pays. Par exemple, 5 des 37 stations aérologiques du Canada ont été fermées depuis les années 1970, alors que, déjà, le réseau ne correspondait pas aux normes mondiales. Parmi les besoins particulièrement criants en données de base provenant des réseaux en surface et des satellites, on peut citer :

1) l'expansion du réseau très limité de stations climatologiques de référence afin de détecter les tendances et les changements climatiques;
2) la mesure des changements dans la chimie de l'atmosphère et des océans;
3) l'évaluation des changements constatés dans l'utilisation des terres, et des taux de déforestation et de reboisement;
4) l'intensification des observations par satellite de la masse terrestre du Canada et des océans qui l'entourent.

Il faut également poursuivre sur la lancée des premiers succès du Canada dans le domaine des MCG. Le Centre climatologique canadien a élaboré un modèle à la fine pointe du progrès. Pour les scientifiques qui étudient les répercussions sociales et économiques que pourrait avoir le changement climatique au Canada, ce modèle a permis qu'ils effectuent leurs recherches au moyen de projections des climats futurs à une échelle beaucoup plus fine que ce qu'offraient auparavant les modèles élaborés dans d'autres pays. Ce type de modélisation du système climatique est l'outil de synthèse de base qui permet de rassembler toutes les informations sur le climat, la glace, la neige, les océans, la végétation et le couvert de la terre, ce qui est indispensable pour prévoir les conséquences des changements dans la composition de l'atmosphère et dans l'utilisation des terres. Si nous voulons rester acteurs et non spectateurs dans cette recherche vitale, une démarche s'impose: qu'un superordinateur soit accessible aux spécialistes de la modélisation du climat, et pas seulement dans le domaine de la circulation générale, mais aussi aux océanographes, biologistes et chimistes effectuant la modélisation de sous-systèmes du grand système climatique. D'autres pays se sont déjà beaucoup engagés dans ce sens, comme l'Australie, avec 8 millions de dollars par année et 25 nouveaux postes, le Royaume-Uni et l'Allemagne avec de nouveaux centres et immeubles, des ordinateurs et 60 ou 70 personnes de plus.

Enfin les modèles qui simulent le système climatique exigent non seulement une quantité suffisante de données fiables, mais aussi une compréhension quantitative des nombreux processus et « boucles de rétroaction » qui influent sur le système. La recherche sur ces processus est l'un des pivots du programme mondial de recherches sur le climat (PMRC) et du programme international géosphère/biosphère (PIGB). Sur le plan inter-

national, ces programmes se déroulent essentiellement sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale et du Conseil international des unions scientifiques, un organisme non gouvernemental. Parmi les grands projets du PMRC qui demandent un apport non négligeable du Canada, figurent l'ECOM (expérience sur la circulation océanique mondiale), l'ISCCP (projet international d'établissement d'une climatologie des nuages à l'aide de données satellitaires) et le GEWEX (expérience mondiale sur l'énergie et le cycle de l'eau). Dans le cadre du PIGB, l'IGAC (programme international sur la chimie de l'atmosphère mondiale), le JGOFS (étude du flux des océans du globe) et le GCTE (changement global et écosystème terrestre) sont aussi des projets très importants. La contribution du Canada à ces efforts mondiaux devrait reposer sur des travaux visant à comprendre les processus en jeu au Canada, tant sur terre que dans les eaux adjacentes, et destinés à améliorer les prévisions du futur climat canadien.

7.0 LE CONTEXTE INTERNATIONAL

Il est urgent que soient adoptées des politiques concertées entre le gouvernement fédéral et les gouvernements provinciaux sur les réductions d'émissions de gaz à effet de serre, sur le reboisement et sur la science. La réunion des ministres, dans le cadre de la Deuxième Conférence mondiale sur le climat, qui s'est tenue à Genève du 29 octobre au 7 novembre 1990, a été la première occasion d'engagements politiques à l'égard de la réduction des émissions et d'autres mesures prises sur la base du rapport de l'IPCC. La conférence a été immédiatement suivie de discussions lors de l'Assemblée générale des Nations Unies, à New York, et par l'ouverture de négociations formelles sur une convention mondiale, en janvier 1991. Une entente devrait donc être conclue d'ici la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement qui se tiendra au Brésil en juin 1992. L'état de l'environnement atmosphérique exige que des mesures internationales soient prises rapidement. Au rythme actuel des émissions et des changements d'utilisation des terres, chaque décennie de retard impose à l'atmosphère de la planète une autre augmentation de 8 % des gaz à effet de serre par rapport aux niveaux préindustriels.

Les fortes pressions dans le sens de mesures mondiales rapides s'accentuent, en particulier de la part de la communauté européenne et de la Scandinavie. De plus, bien des pays en développement commencent à voir dans le réchauffement de la planète et la hausse du niveau de la mer une question de justice économique, sociale et écologique entre le Nord et le Sud. Le monde industrialisé est à la source du problème, puisqu'il a affaibli la résistance de l'atmosphère, et, aux yeux des pays en développement, il assume une responsabilité particulière. Ceux-ci pensent que les pays industrialisés doivent réparer les dommages causés à l'environnement mondial et fournir au Sud l'aide économique et technique qui leur permettra de s'acheminer vers le développement sans ajouter (ou le moins possible) à ces dommages.

Avec le début des négociations internationales, on demandera probablement aux pays de prendre des engagements sur plusieurs questions dont, en premier, celle des émissions de gaz à effet de serre. Pour examiner l'évolution annuelle dans chaque pays des émissions de CO_2 et de certains des principaux gaz à effet de serre, on peut utiliser la même approche que le sous-groupe sur l'énergie de l'IPCC. Dans cette optique, les changements constatés au cours d'une année dans un pays sont fonction 1) de la variation du produit intérieur brut, 2) du changement d'intensité énergétique (autrement dit, de la consommation d'énergie par unité du PNB) et 3) du changement d'intensité en carbone (qui est le changement dans la quantité de carbone émis par unité d'énergie consommée). Nul ne s'attend que, dans ces discussions, un pays limite volontairement la croissance de son PNB. On espère, en revanche, que tous, et en particulier les pays industrialisés très énergivores comme le Canada, s'engagent à des réductions à long terme des facteurs 2) et 3), l'intensité énergétique et l'intensité en carbone.

En outre, le Canada est considéré comme possédant un potentiel énorme pour augmenter les puits de CO_2, en particulier s'il se dote d'un programme dynamique de reboisement. Il faut très sérieusement envisager de replanter les vastes terres insuffisamment rétablies à leur ancien état et de reboiser les grandes étendues de terre sous-exploitées du Canada.

En raison des pressions exercées par l'Europe et le monde en développement, ainsi que des fortes préoccupations des Canadiens à l'égard de l'environnement, il devient impératif de formuler au plus tôt une politique canadienne responsable. Elle devra aborder les questions de l'amélioration de l'intensité énergétique et de celle en carbone, du reboisement, de la réduction des incertitudes économiques et scientifiques, ainsi que de l'aide aux pays en développement. Que ce résumé aide à la formulation de cette politique, voilà notre souhait.

8.0 CONCLUSION

La communauté scientifique, tant au Canada que dans le reste du monde, est unanime à dire que les augmentations, déjà observées et continuelles, dans les concentrations de gaz à effet de serre d'origine anthropique résulteront en un réchauffement planétaire et en une élévation du niveau de la mer sans précédent, à moins d'une substantielle réduction des émissions. Ces changements surviendront dans le prochain siècle, mais pas nécessairement à un rythme régulier, et, pour certains pays, pourraient avoir des conséquences catastrophiques. En ce qui concerne le Canada, il peut s'attendre à certaines incidences directes positives, mais à de nombreuses conséquenses négatives, et il ne pourra éviter les graves répercussions dues aux grands changements que subira le commerce mondial, surtout dans le domaine de l'agriculture, et au problème des millions de réfugiés de l'environnement à la recherche de terres plus élevées, à mesure que montera le niveau de la mer.

Le secteur de l'énergie devra particulièrement s'attacher à élaborer des stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre. À l'échelle mondiale, au cours des années 1980, la consommation d'énergie a contribué à la moitié de l'intensification du forçage radiatif par les augmentations des gaz à effet de serre; un quart provenait des CFC et le reste des méthodes d'utilisation des terres (déboisement et agriculture). On a déjà pris des mesures pour limiter les émissions de CFC dans le cadre du Protocole de Montréal, mais maintenu le statu quo pour les autres gaz à effet de serre; on s'attend donc que, entre 2000 et 2025, le secteur de l'énergie produise environ les deux tiers des augmentations, alors que la déforestation et l'agriculture en produiront près de 30 %.

Sur le plan international et national, le Canada devra travailler main dans la main avec les autres pays pour réduire les concentrations à l'échelle de la planète des gaz à effet de serre. Il lui faudra alors disposer d'un dynamique programme d'économie et d'efficacité de l'énergie, mettre graduellement de côté les combustibles fossiles comme sources d'énergie et faire de grands efforts de reboisement. La plupart de ces mesures seront bénéfiques en elles-mêmes; d'autres, en revanche, pourront exiger d'importants sacrifices de la part de l'économie et de la société.

Outre ces mesures visant à réduire, avec d'autres pays, les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre, une politique canadienne complète devrait comprendre trois autres volets : l'élaboration d'une série de stratégies d'adaptation, l'appui aux études, aux recherches et à la surveillance destinées à réduire les incertitudes scientifiques et économiques et, enfin, un plan d'aide aux pays en développement.

Même les efforts les plus vigoureux à l'échelle de la planète pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et pour reboiser ne nous permettront pas d'éviter un certain réchauffement du climat. Il faudra donc s'adapter à un monde qui connaîtra une évolution du climat. L'adaptation aux répercussions possibles du changement climatique devrait faire intervenir l'élaboration de plans pour mettre toutes les chances de notre côté, comme choisir les essences forestières qui conviendront le mieux aux rotations futures, planifier la réponse aux nouvelles demandes saisonnières d'énergie et améliorer la planification du littoral.

La section 6.0 présente les grandes lignes des types de recherche, d'études et de surveillance qui permettront de réduire la marge d'incertitude et qui fourniront les données analytiques de base grâce auxquelles on pourra choisir les stratégies de limitation et d'adaptation. Il faut intensifier l'étude et la mesure du système naturel et des modifications que lui ont infligées les humains; cependant, il faut de façon plus urgente procéder à une série d'études analytiques indépendantes pour déterminer comment, à moindre coût, réduire l'apport de l'humanité aux concentrations de gaz à effet de serre.

En règle générale, les pays en développement désirent participer activement aux efforts mondiaux tentant de résoudre le problème des gaz à effet de serre et du changement climatique. En revanche, la plupart d'entre eux manquent de moyens financiers pour investir les capitaux initiaux dans l'économie d'énergie, l'utilisation de combustibles non fossiles et le reboisement, même si, à long terme, cet investissement doit déboucher sur la rentabilité économique. Pour qu'un effort réellement mondial puisse être entrepris en ce domaine, le monde industrialisé doit trouver un quelconque moyen de surmonter ces premiers obstacles.

Ce sont là des questions pressantes. Chaque décennie qui s'écoule nous condamne à une nouvelle augmentation, par rapport aux niveaux préindustriels, de 8 % du forçage radiatif dû aux gaz à effet de serre. Pour qu'une convention mondiale efficace puisse être négociée d'ici à 1992, date de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, tous les pays devront rapidement décider des politiques à suivre.